Zur Öffnungsmechanik der Antheren.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT

DER

UNIVERSITÄT FREIBURG I. D. SCHWEIZ

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

VORGELEGT VON

MARTIN SCHIPS

AUS

ROTHENTHURM (KT. SCHWYZ).

Mit 6 Figuren im Text.

Dresden,
Druck von C. Heinrich.
1913.

Zur Öffnungsmechanik der Antheren.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT

DER

UNIVERSITÄT FREIBURG I. D. SCHWEIZ

ACAD.
LUGD. BAT.
BIBL.

VORGELEGT VON

MARTIN SCHIPS

AUS

ROTHENTHURM (KT. SCHWYZ).

Mit 6 Figuren im Text.

Dresden,
Druck von C. Heinrich.
1913.

Sonderabdruck aus den Beiheften zum Botanischen Centralblatt
Bd. XXXI. Abt. I. Heft 2. 1913.

Meinen lieben Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545317_0073

Inhalt.

Seite

Einleitung 3
1. Geschichtlicher Überblick 3
2. Gegenwärtiger Stand der Frage 5
Erster Teil: Über die Grösse des Kohäsionszuges des Füllwassers und der Hygroskopizität der Zellwände in den Faserzellen von Antheren . . . 7
1. Kapitel: Beobachtungen an isolierten Zellen 7
a) Arbeitsmethode 7
b) Literatur über Versuche mit isolierten Faserzellen . . . 9
c) Eigene Versuche und Messungen 10
d) Zusammenfassung 21
2. Kapitel: Über den Luftgehalt der Antheren während der Öffnung. — Öffnen der Antheren in feuchter Luft 22
a) Bisherige Beobachtungen 22
b) Bemerkungen zu den bisherigen Resultaten 23
c) Eigene Untersuchungen 25
d) Zusammenfassung 29
3. Kapitel: Über Faltenbildung der dünnen Membran . . 29
a) Bisherige Beobachtungen 29
b) Eigene Untersuchungen 31
c) Zusammenfassung 35
4. Kapitel: Über das Verhalten dünner Querschnitte . . 35
a) Bisherige Beobachtungen 35
b) Bemerkungen zu den bisherigen Beobachtungen 36
c) Eigene Untersuchungen 37
d) Zusammenfassung 39
5. Kapitel: Ausschaltung der Kohäsion durch Unterbrechung des Schließprozesses 39
6. Kapitel: Die „Vakuummethode" Steinbrincks 42
a) Bisherige Anwendung und Resultate 42
b) Bemerkungen zu dieser Methode 44
c) Eigene Untersuchungen 46
d) Zusammenfassung 51
7. Kapitel: Methode der Öffnung durch wasserentziehende Flüssigkeiten 51
a) Bisherige Anwendung und Resultate 51
b) Bemerkungen zu dieser Methode 53
c) Eigene Untersuchungen 56
d) Zusammenfassung 63

Zweiter Teil: Über den hygroskopischen Öffnungsmechanismus der Antheren 63
1. Kapitel: Geschichtlicher Überblick und Stand der Frage . . . 64
2. Kapitel: Verhalten der isolierten Fasern bei Wasserverlust . . . 66
3. Kapitel: Verhalten der dünnen Membranen bei Wasserverlust . 73
4. Kapitel: Erklärung einiger Beobachtungen auf Grund der Resultate des 2. und 3. Kapitels 77
5. Kapitel: Beziehungen zwischen dem Bau der Antherenklappen und ihrer Funktion beim Öffnungsvorgang 82
Zusammenfassung der wichtigsten Resultate 86
Literaturübersicht 88

Zur Öffnungsmechanik der Antheren.

Von

Martin Schips

aus Rothenthurm (Schweiz).

Mit 6 Figuren im Text.

Einleitung.

1. Geschichtlicher Überblick.

Das Studium des Öffnungsmechanismus der Antheren hat seit mehr als hundert Jahren das Interesse in Anspruch genommen. Den Anstoß dazu gab Mirbel (1808), welcher der Bewegung der Antherenklappen eine mechanische Ursache zugrunde legte. Aus der am Schlusse beigegebenen, chronologisch geordneten Literaturübersicht geht hervor, daß bis zum Anfang der achziger Jahre des vorigen Jahrhunderts nur wenige, zeitlich ziemlich weit auseinanderstehende Veröffentlichungen über das Antherenproblem vorliegen; seit Schinz (1883) ist dagegen die Reihenfolge der Publikationen ununterbrochen.

Die genauere Geschichte dieser Forschungen wurde wiederholt dargestellt, so von Schinz (1883), Schrodt (1885), Steinbrinck (1895, 1), in neuerer Zeit von Colling (1905, S. 5—13), Kuhn (1908, S. 1 ff.), Schneider (1908, S. 5 ff.); der zuletzt genannte hat die Literatur nach den darin vertretenen Ansichten in einer Übersicht zusammengefaßt. Ich glaube somit von einer allgemeinen Darstellung der Geschichte des Antherenproblems bis Schneider absehen zu dürfen. Dagegen halte ich es für zweckmäßig, jedem Kapitel eine spezielle Einführung voranzustellen, welche die bisherige Entwicklung der betreffenden Einzelfrage oder der betreffenden Versuchsordnung enthält.

Die allgemeine Entwicklung der Frage seit Schneider soll im folgenden an Hand der seither erschienenen Arbeiten dargestellt werden.

Zur Zeit, in welche die Arbeit Schneiders fällt (1908), hatte sich die Frage soweit abgeklärt, daß sich seit fünf Jahren nur noch zwei Ansichten gegenüberstanden, „von denen die eine für

Hygroskopie, die andere für Kohäsion als Öffnungsursache eintritt" (Schneider, 1908, S. 7). Vertreter der ersten Ansicht sind nach der Zusammenstellung von Schneider (S. 6): Schrodt (1885), Leclerc du Sablon (1885), Steinbrinck (1891–1898), Brodtmann (1898), Schwendener (1899), Colling (1905); nach ihnen ist die Öffnungsursache „hygroskopische Schrumpfung der dünnen Faserzellmembranen"; Kamerling (1898) und Steinbrinck (seit 1898) sahen dagegen die Öffnungsursache in der „durch Kohäsionszug des schwindenden Füllwassers bewirkten Einfaltung der dünnen Membram der Faserzellen". Schneider trat der ersten Ansicht bei; nach seinen Versuchen (vgl. seine Zusammenfassung, S. 77 ff.) bewirkt die Kohäsionskontraktion „oft gar keine oder sonst nur sehr geringe Krümmung der Querschnitte von *Tulipa*", die *Tulipa*-Anthere ist vielmehr „ein extremer Typus eines hygroskopischen Mechanismus"; hygroskopisch sind die Verdickungsfasern, und zwar „die innere Seite der Faserbögen stärker als die äußere"; „die dünnen Membranen sind ebenfalls hygroskopisch."

Steinbrinck (1909, S. 1 ff.) griff diese Ergebnisse sofort an und hielt, gestützt besonders auf seine später zu besprechenden Versuche mit der Luftpumpe, die Kohäsionstheorie aufrecht. Gegen diese Versuche hat Schneider dann (1909, S. 200) eine Publikation angekündigt; doch ist eine solche bis jetzt noch nicht zu meiner Kenntnis gelangt. Im übrigen beziehen sich diese und die folgenden Veröffentlichungen Steinbrincks und Schneiders auf spezielle Untersuchungen über das Aufreißen der Naht und kommen deshalb hier nicht weiter in Betracht.

Außer Steinbrinck und Schneider hat sich seit 1908 nur noch Hannig mit dem Antherenproblem beschäftigt (1910); er vertritt mit Steinbrinck im Gegensatz zu Schneider die Kohäsionstheorie. „Die Öffnung der Antheren beruht auf Kohäsionsmechanismus. Hygroskopische Austrocknung und Krümmung der Membranen kann im allgemeinen erst in Betracht kommen, wenn die Antheren schon längere Zeit vollständig geöffnet waren" (S. 215).

Es hat sich demnach der Stand der Frage seit Schneider nicht wesentlich verändert; es stehen sich immer noch die Schrumpfungs- und die Kohäsionstheorie gegenüber. Dies kommt auch in den Lehr- und Handbüchern zum Ausdruck. Haberlandt (Physiol. Pflanzenanatomie, 4. Aufl., 1909, S. 505 f.), Schwendener (Mechan. Probleme, 1909, S. 130) und Warming-Johannsen (1909, S. 527) stehen auf Seite der Schrumpfungstheorie; Pfeffer (Pflanzenphysiologie, 1904, II. Bd., S. 542) erklärt sich für keine der beiden Theorien; Jost (Pflanzenphysiologie, 1908, S. 492) und Tröndle (Handwb. d. Naturw., I. Bd., S. 1119, Jena 1912) vertreten die Kohäsionstheorie.

Im folgenden sollen diese beiden Theorien charakterisiert und die Gründe, welche ihre Vertreter anführen, angegeben werden, um so einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der Frage zu erhalten.

2. Gegenwärtiger Stand der Frage.

In der Wand der Antherenfächer lassen sich von außen nach innen drei Lagen von Zellen unterscheiden: zu äußerst die Epidermis, dann die Faserschicht, so genannt nach den faserförmigen Wandverdickungen ihrer Zellen, und zu innerst das Tapetum, welches bei reifen Antheren meist bis auf kleine Reste resorbiert ist. Die Faserzellen können verschieden ausgebildet sein: als Bank-, Stuhl-, Griff-, Doppelstern-, Ring- und Schraubenzellen; mit Ausnahme der drei letzten ist bei allen die Innenwand, d. h. die gegen die Klappenhöhle zuliegende, stärker verdickt als die Außenwand. Näher werden diese anatomischen Verhältnisse beschrieben von Schinz (1883), Steinbrinck (1895, 1), Colling (1905) und besonders eingehend in der nur anatomischen Arbeit von Kuhn (1908).

Nach der Schrumpfungstheorie kommt nun die Öffnung dadurch zustande, daß die Membranen der Faserzellen, nachdem diese das Füllwasser verloren haben, infolge des Verlustes des Imbibitionswassers sich verkürzen; da die Wände hierbei Arbeit leisten, sind sie straff gespannt. — Bei Öffnung auf Grund des Kohäsionsmechanismus dagegen sind die Faserzellen während der Bewegung mit Flüssigkeit gefüllt. Durch Austrocknen verringert sich das Volumen des flüssigen Zellinhaltes und dieser zieht vermöge der Kohäsion seiner Teile untereinander und ihrer Adhäsion an den Membranen diese letzten in Falten.

Die Beobachtungen, welche zugunsten dieser Theorien von ihren Vertretern angeführt werden, sind folgende:

I. Für die Schrumpfungstheorie.

1. Öffnung der Antheren erfolgt erst, wenn die Zellen keinen flüssigen Inhalt mehr besitzen; Brodtmann (1898, S. 42), Schwendener (1899, S. 102), Colling (1905; von den über 100 untersuchten Arten begann nur bei vier die Öffnungsbewegung vor dem Verschwinden des flüssigen Zellinhaltes), Schneider (1908, S. 29 ff.).

2. Die dünnen Membranen sind bei geöffneten Antheren straff gespannt; Schwendener (1899, S. 103), Schrodt (1901, S. 487), Colling (1905, S. 19).

3. Kohäsionswirkung ist tatsächlich vorhanden, ist aber zu unbedeutend, als daß sie quantitativ den Öffnungsvorgang zu erklären vermöchte; Schneider (1908, S. 29—36).

II. Für die Kohäsionstheorie.

1. Die Faserzellen sind während der Öffnung sämtlich oder doch in ihrer überwiegenden Mehrheit mit Flüssigkeit gefüllt; Steinbrinck (1898, S. 102 f.; 1899, S. 169 f., S. 102; 1900, S. 50; 1906, S. 722), Hannig (1910, S. 204 und 212). Schrodt beobachtet dasselbe an „eben aufgebrochenen“ Antheren und stellt sie deshalb ausdrücklich in Gegensatz zu den „trockenen, geschrumpften“ (1901, S. 486).

2. Die dünnen Membranpartieen sind in trockenen Antheren gefaltet. Schinz (1883, S. 29ff.) und Schrodt (1885, S. 35 und 39) beobachteten Faltungen der an die Epidermis angrenzenden Membran der Faserzellen. Solche sind aber für den Kohäsionsmechanismus nicht beweisend; denn sie können (vgl. Schinz, S. 30) auch infolge von Schrumpfung entstehen, wenn die Hygroskopizität der tangentialen Außenwände nicht so stark ist, daß sie der Verkürzung der Radialwände zu folgen vermag. Falten der Radialwände konstatierte Steinbrinck an tangentialen Mikrotomschnitten (1898, S. 103; 1899, S. 169, mit Fig. 1—4; 1901, S. 555; 1906, S. 672, mit Fig.; 1909, S. 303), Hannig an „mäßig dicken", mit der Hand hergestellten Schnitten (S. 212, mit Fig. 5).

3. Bei Verunmöglichung der Kohäsion bleibt die Öffnung aus, auch wenn der hygroskopische Mechanismus funktionsfähig bleibt. Es gehören hierher folgende Versuche:

a) Bei dünnen Querschnitten, deren Zellen sämtlich oder doch zum größten Teil angeschnitten sind, ist die Wirkung der Kohäsion ausgeschlossen; nach Steinbrinck (1899, S. 103; 1906, S. 721ff.) öffnen sich solche Schnitte nicht mehr.

b) Geöffnete Antheren, auf flüssiges Wasser oder in eine feuchte Kammer gelegt, beginnen sich zu schließen. Unterbricht man die Schließung, bevor die Lumina sich mit flüssigem Wasser gefüllt haben, so ist beim nachfolgenden Austrocknen Kohäsion verunmöglicht. Diese Methode benutzte Steinbrinck bei *Selaginella*-Sporangien, Moosblättern und Blättern von Dünengräsern (1902, S. 127; 1903, S. 190 und 127; 1908, S. 406); außer ihm Ursprung (1903) beim *Ancimia*-Annulus (S. 639) und beim *Psilotum*-Sporangium (S. 663). Antheren behandelte nach dieser Methode bis jetzt nur Haberlandt (Pflanzenanatomie 1909, S. 505); seine Ergebnisse sprechen gegen die Kohäsionstheorie.

c) Eine dritte Methode wurde von Steinbrinck angewandt; sie möge der Kürze halber „Vakuummethode" genannt werden. Vollreife, aber noch nicht geöffnete Antheren werden mindestens 24 Stunden in absoluten Alkohol gelegt und darauf im Vakuum getrocknet; sie öffnen sich nicht. Die Öffnung bleibt nach Steinbrinck deshalb aus, weil bei dem schnellen Verdunsten des Alkohols im Vakuum die Flüssigkeit bereits zu Beginn der Austrocknung reißt; hierdurch ist die Kohäsion ausgeschaltet. Steinbrinck (1899, S. 105; 1900, S. 222, 282 und 395; 1906, S. 723; 1909, S. 3); Abbildungen der von ihm verwandten Apparate finden sich in „Physikalische Zeitschrift", 2. Jahrg. (1901, S. 495) und „Flora", Bd. 94 (1905).

4. Die Antheren öffnen sich bei Besonnung auch im feuchten Raum unter Abgabe von bis 70% Wasser. Hierbei wird den Zellwänden nicht soviel Wasser entzogen, daß hygroskopische Verkürzung eintreten könnte; also Öffnung unter Ausschluß der Hygroskopizität. Hannig (1910, S. 197ff.). —

Die Übersicht der unter I. und II. aufgeführten Gründe zeigt, daß sich die Beobachtungen der Forscher in wichtigen Punkten, so in bezug auf die Luftfüllung der Zellen während des Öffnens,

sowie in bezug auf das Vorkommen von Falten direkt widersprechen. Es ist demnach zuerst eine neue Prüfung dieser Verhältnisse vorzunehmen, wobei es sich besonders darum handelt, zu ermitteln, wieviel Kohäsion und Hygroskopizität, jede für sich, bei der Antherenöffnung leisten können und wieviel sie beim natürlichen Öffnungsvorgang tatsächlich leisten.

Die Beantwortung dieser Frage soll im ersten Teil der vorliegenden Arbeit versucht werden; Gegenstand eines folgenden Teiles ist das Studium der Wirkungsweise der Kraft, welche nach dem Ergebnis des ersten Teiles die Öffnung verursacht.

I. Teil. Über die Größe des Kohäsionszuges des Füllwassers und der Hygroskopizität der Zellwände in den Faserzellen von Antheren.

1. Kapitel. Beobachtungen an isolierten Zellen.

a) Arbeitsmethode.

Kohäsion ist nur dann wirksam, wenn eine Zelle mit Wasser gefüllt ist; beim Auftreten einer Gasblase hört die Kohäsionswirkung auf und die noch folgende Verkürzung ist rein hygroskopisch. Je größer die Gasblase, desto sicherer ist natürlich die Aufhebung der Kohäsion; bei ganz kleinen Gasblasen kann die Kohäsionswirkung des Wassers wegen der Meniskenwirkung erhalten bleiben. Diese ist (vgl. Nägeli und Schwendener, Das Mikroskop, 1877, S. 370) bei einer kugelförmigen Luftblase von 1 mm Durchmesser gleich dem Druck einer Wassersäule von 30 mm, bei einem Durchmesser von 1 μ somit = ca. 3 Atm. Das sicherste Zeichen für die Aufhebung der Kohäsion ist das Zurückschnellen des Objekts in seine ursprüngliche Lage, das sog. „Zucken", welches beim Polypodiaceenannulus sehr auffällt. Freilich tritt dieses Zucken nicht immer ein. Wenn im folgenden von Gasblasen gesprochen wird, so haben diese stets eine solche Größe, daß die Kohäsionswirkung unterbrochen ist (vgl. S. 11).

Es handelt sich nun darum, eine Methode zu finden, welche einerseits möglichst genaue Messungen gestattet, anderseits die natürlichen Verhältnisse möglichst wenig verändert.

Im Interesse der ersten Forderung machte ich meine Versuche und Messungen an isolierten Zellen, die meist einzeln oder dann höchstens zu zwei miteinander verbunden waren. Im letzten Falle war das Präparat nur dann verwendbar, wenn die Grenzen der einzelnen Zellen an den Verbindungsstellen genau und sicher zu erkennen waren.

Die Verwendung von isolierten Zellen scheint mir unumgänglich, wenn man genaue Messungen während der Veränderung des Wassergehaltes ausführen will. Querschnitte durch Antheren sind zu diesem Zwecke auch dann ungeeignet, wenn sie nur noch eine geringe Anzahl von Zellen enthalten. Es läßt sich an ihnen einmal nicht mit genügender Sicherheit feststellen, welche Zellen beim

Präparieren verletzt wurden und welche intakt geblieben sind, und doch ist eine gesonderte Behandlung beider zu erstreben. Anderseits treten in einem Zellverbande die Gasblasen nur in den seltensten Fällen in allen Zellen gleichzeitig auf, und es ist deshalb nicht möglich, die Leistung der Kohäsion und diejenige der Hygroskopizität einzeln festzustellen. Endlich müßte man an solchen Schnitten mehrere Messungen vornehmen in bezug auf die Dimensionen der einzelnen Zellen, sowie in bezug auf die Krümmung des Schnittes (Richtung, Sehnenlänge und Pfeilhöhe des betr. Bogens). Da nun das Auftreten der ersten Gasblase nur einen Augenblick dauert, worauf dann sofort bedeutende Dimensionsänderungen eintreten, so müßten alle genannten Messungen gleichzeitig gemacht werden. — Bei einzelnen Zellen fallen diese Schwierigkeiten weg, weil beim Auftreten der Gasblase nur eine einzige Messung, die der Zellbreite, vorzunehmen ist. Diese läßt sich mit großer Genauigkeit ausführen, da man vorher die Zelle in bezug auf die Mikrometerskala in jede gewünschte Lage bringen kann; man hat dann nur im Moment des Auftretens der Gasblase die Breite der Zelle abzulesen.

Die hauptsächlichste Fehlerquelle bildet hiebei das sehr häufige Ankleben der Zellen am Objektträger; ein Deckglas wurde, zur Vermeidung von Druck, nicht benutzt. Um das Ankleben zu verhindern, schob ich die Zellen vor jeder Messung und bei längerem Antrocknen auch mehrmals während desselben mit der Nadel auf dem Objektträger hin und her, indem ich die Zelle dabei im Mikroskop bei schwacher Vergrößerung nicht aus dem Gesichtsfelde verlor. Die Nadel mußte hiezu gut trocken sein, weil sonst die Zellen an ihr klebten und dann leicht verloren gingen.

Außer auf Zuverlässigkeit der Messungen richtete ich meine Aufmerksamkeit auch darauf, die natürlichen Verhältnisse möglichst wenig zu verändern. Ich verwandte nur Material, welches seit der Entnahme aus der Blüte trocken aufbewahrt worden war. Ich glaube zwar, daß diese Vorsicht nicht absolut notwendig ist; denn Colling (S. 55) und Schneider (1908, S. 32) haben festgestellt, daß in verdünntem Alkohol konserviertes Material bei ihren Versuchen sich nicht anders verhielt, als frisches oder trocken aufbewahrtes; ich kann dies nach Maßgabe von Kontrollversuchen mit einigen aus Alkoholmaterial isolierten Faserzellen von *Tulipa Gesneriana* auch für die hier besprochenen Versuche bestätigen.

Die trockenen Antheren ließ ich zunächst in Wasser auf ihre ursprüngliche Länge sich ausdehnen und fertigte dann zwischen Hollundermark dünne Querschnitte an. Aus diesen isolierte ich, nachdem ich sie in Wasser auf den Objektträger gelegt hatte, unter dem Präparier-Mikroskop (Zeiß, Binocolares-Mikroskop, Vergr. 35) Zellen mit der Nadel. Die zu isolierende Zelle suchte ich dabei nach Möglichkeit zu schonen, um intakte Zellen isoliert zu erhalten.

Mit einiger Übung gelang es mir, eine Anzahl von Zellen so zu isolieren, daß bei ihnen auch bei ziemlich starker Vergrößerung (Zeiß, Obj. D, Oc. 3, Vergr. 320) und bei mehrmaligem Umdrehen mit der Nadel eine Verletzung nicht zu bemerken war. Außer

solchen Zellen gelangte auch eine große Anzahl verletzter Zellen und Zellreste zur Untersuchung.

Hiebei kamen die Zellen nur mit Wasser in Berührung. Um sie auszutrocknen, saugte ich aus ihrer Umgebung mit Filtrierpapier alles Wasser ab, so daß die Zellen nur noch in einem kleinen Wassertröpfchen sich befanden. Das Austrocknen bis zum Auftreten der ersten Gasblase trat dann in Zimmertemperatur ziemlich rasch (in 1—2 Minuten) ein; nachher beschleunigte ich den Vorgang durch gelindes Erwärmen über einer kleinen Flamme.

b) Literatur über Versuche mit isolierten Faserzellen.

Zuerst sind solche Versuche erwähnt von Steinbrinck (1889, S. 101f); er bespricht sie unter dem Titel: „Entscheidende Beobachtungen an isolierten Faserzellen." Die Zellen hatte er „durch gelinde Mazeration mit Salpetersäure oder mit dieser Säure und Kaliumchlorat" isoliert. Er fand bei isolierten Faserzellen von *Crocus*, daß die Zellen erst am Schlusse der Kontraktion Luft aufwiesen. Bei Zellen von *Tulipa* war, wenn das Ankleben an der Unterlage vermieden wurde, „das Eintreten der Kontraktion und der charakteristischen Deformation vor dem Erscheinen der Blasensäume mit Sicherheit oft zu konstatieren". Auf diese Versuche bezieht sich Steinbrinck 1899 wiederholt (S. 169 und S. 104). Auch Schwendener hat einige „auf mechanischem Wege oder durch Mazeration" isolierte Faserzellen untersucht, jedoch nicht zu dem hier in Frage kommenden Zwecke, sondern zu Beobachtungen betr. Faltenbildung.

Isolierte Faserzellen untersuchte ferner Schneider (1908, S. 31ff); er erhielt sie „nicht durch Mazeration, sondern durch Zerreißen und Zerteilen der Schnitte mit Nadeln". Sein Ergebnis, das er im Gegensatz zu Steinbrinck durch genaue Zahlenangaben stützt, ist dem von Steinbrinck direkt entgegengesetzt; er fand die Kohäsionsverkürzung im Vergleich zur hygroskopischen sehr klein. Hierbei macht er die zur Beurteilung der mit isolierten Faserzellen ermittelten Resultate sehr wichtige Bemerkung: „Da eine isolierte Zelle vom Widerstand der Epidermis und seitlicher Zellen befreit ist, so ist ihre (Kohäsions-) Kontraktion verhältnismäßig bedeutender als bei Zellen im Gewebeverband" (S. 36). „Die Wirkungen der Kohäsionskontraktion sind demgemäß in der Klappe infolge der Widerstände und der daraus sich ergebenden Zersplitterung der Kräfte nirgends groß und die schwachen Kontraktionen können sich nur in seltenen Fällen summieren" (S. 35). Die an isolierten Faserzellen festgestellten Kohäsionsverkürzungen sind maximale Werte, von denen nur ein Bruchteil als Ursache des natürlichen Öffnungsvorgangs in Betracht kommt.

Hannig hat auf Versuche mit isolierten Zellen verzichtet, und zwar aus folgenden Gründen (S. 206f): „Man kann sich schwer vorstellen, wie auf mechanischem Wege die Faserzellen so isoliert werden könnten, daß Deformationen ausgeschlossen wären. Noch weniger läßt sich das annehmen bei dem Mazerationsverfahren,

bei dem die Zellmembranen mehr oder weniger aufquellen und dadurch in ihrer Gestalt verändert werden."

Daß mazeriertes Material keine zuverlässigen Resultate liefert, hat Ursprung (1903, S. 657) an *Equisetum*-Sporangien nachgewiesen. Die Verdickungen, die vorher schwache Holzreaktion zeigten, reagierten nachher auf Cellulose. Von physikalischen Veränderungen war auffallend, daß eine trockene, mazerierte Faserzelle im Gegensatz zu den nicht mazerierten bei Wasserzusatz sich nicht mehr ausdehnte. „Die beim hygroskopischen Mechanismus des Schließens wirksamen Membranteile hatten somit durch das Mazerieren ihre Funktionsfähigkeit eingebüßt."

Dagegen dürften die Zellen, die nach der unter a) angegebenen Methode isoliert wurden, weder physikalisch noch chemisch verändert worden sein. Chemische Veränderungen sind ausgeschlossen, weil die Zellen nur mit Wasser in Berührung kamen, und da sie unter Wasser isoliert wurden, in dem sie jeweilen frei herumschwammen, konnten sich die durch den Druck der Nadel beim Isolieren entstandenen Deformationen immer wieder ausgleichen.

c) Eigene Versuche und Messungen.

Da die hier in Frage kommenden Versuche Steinbrinck's und Schneider's entgegengesetzte Resultate geliefert haben, hielt ich es in Rücksicht auf die grundlegende Bedeutung einer quantitativen Behandlung der Frage für notwendig, an einer großen Anzahl von Faserzellen methodisch Messungen vorzunehmen unter Anwendung aller Vorsichtsmaßregeln zur Vermeidung der mir bekannten Fehlerquellen. Subjektive Beobachtungsfehler sollten durch die große Zahl der Versuche, sowie dadurch ausgeglichen werden, daß ich jede Messung zweimal vornahm.

Wenn es mir gelungen war, eine Zelle zu isolieren, untersuchte ich zunächst unter Umdrehen mit der Nadel, ob an ihr eine Verletzung zu bemerken sei und zeichnete sie dann mit dem Prisma. Darauf maß ich Breite und Höhe der Zelle und zwar jedesmal den größten Durchmesser unter genauem Einstellen des optischen Systems auf die Zellränder.

Zur Ermittelung der Größe der Kohäsionsverkürzung suchte ich bei unverletzten Zellen die Breite im Augenblick der ersten Blasenbildung zu messen. Es gelang mir dies nicht immer mit genügender Sicherheit, weil manchmal die Gasblase unerwartet auftrat. Nach vollendetem Austrocknen maß ich die Dimensionen der Zelle wieder. Hierauf gab ich Wasser zu und nahm alle Messungen ein zweitesmal vor. Die Differenz zwischen beiden Messungen betrug, wenn eine solche überhaupt vorhanden war, einen halben, nur selten einen ganzen Mikrometerteilstrich.

Beim Auftreten der Gasblasen beobachtete ich in Übereinstimmung mit Schneider (1908, S. 32) in vielen Fällen ein deutliches Zucken der Zellen. Es bestand in einem Zurückgehen auf die ursprüngliche Dimension, worauf dann sofort eine energische hygroskopische Kontraktion einsetzte. In andern Fällen konnte

ich ein Zucken nicht konstatieren, wohl wegen der Geringfügigkeit der vorhergegangenen Kontraktion (kaum ein Teilstrich). Dieses Zucken beweist, daß die Kohäsion in jenem Momente sicher aufgehoben wurde. Immer erfüllte die erste Gasblase sofort das ganze Lumen, so daß die Aufhebung der Kohäsion auch in jenen Fällen unzweifelhaft feststeht, wo ein Zucken nicht eintrat.

Die Zellen zeigten in bezug auf die Schnelligkeit, mit der sie Wasser verloren bezw. aufnahmen, weitgehende Unterschiede;

Tabelle 1.

Lilium candidum. Unverletzte Zellen.

No.	Breite			Höhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzung in %	In Wasser	Trocken	Verkürzung in %
1.	16	11	31,25	28	28	0,00
2.	20	15	25,00	20	19	5,00
3.	6	4	33,33	20	20	0,00
4.	20	10	50,00	21	20	4,76
5.	7	4	42,85	24	24	0,00
6.	8	4	50,00	23	22	4,33
7.	21½	16	25,57	23	21½	6,53
8.	15	9	40,00	21	20	4,76
9.	15	12	20,00	27	26	3,70
10.	14	10½	25,00	27	26	3,70
11.	9½	6	36,83	25	24	4,00
12.	5	3	40,00	19	18	5,24
13.	10	6	40,00	26	25	3,85
14.	19	13½	28,95	23	22	4,35
15.	21	15	28,57	22	21	4,54
16.	15	10	33,33	21	20	4,76
17.	12	9	25,00	22	21	4,54
18.	14	10	28,53	21	20	4,76
19.	12½	9	28,00	21	20	4,76
20.	14	10¼	26,78	21	20	4,76
21.	12½	10	20,00	21	20	4,76
22.	19	14½	25,26	20	19	5,00
23.	14	8	42,85	25	23¾	5,00
24.	17	13	35,29	17	16½	2,94
25.	19	13	31,58	21	20	4,76
	Mittelwert:		32,56	Mittelw.:		4,03

Tabelle 2.

Lilium candidum. Verletzte Zellen.

No.	Breite			Höhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzung in %	In Wasser	Trocken	Verkürzung in %
1.	8	6	25,00	20	20	0,00
2.	7	4	42,85	24	24	0,00
3.	25	18½	26,00	20	20	0,00
4.	16	8½	46,87	22	21	4,54
5.R	8	5½	31,25	23	22	4,35
6.R	7	5¾	17,86	13	13	0,00
7.	15	10	33,33	26	26	0,00
8.	13½	10	25,92	25	25	0,00
9.	10	7½	25,00	25	24	4,00
10.	5	3	40,00	19	18	5,24
11.	12	8	33,33	23	22	4,35
12.R	9	6¼	30,56	23	22	4,35
13.	11	5	54,54	23	22	4,35
14.	20	15	25,00	21	20	4,76
15.	10½	6½	47,62	19	18	5,26
16.R	10	6	40,00	21	20	4,76
17.	12	6½	45,38	20	19	5,00
18.	10	5½	45,00	22	21½	2,36
19.	14	10¼	26,78	22	21½	2,36
20.R	11	8	27,28	17	16	5,87
21.	12	9	25,00	17	16	5,87
22.	16½	10¼	31,82	16	15	6,25
23.	15½	8	48,39	22	22	0,00
	Mittelwert:		34,56	Mittelw.:		3,20

manche Zellen, so von *Lilium* oder *Tulipa*, waren weniger, andere, wie z. B. die zarteren Zellen von *Passiflora*, dagegen sehr empfindlich. So schlugen einige Zellen von *Passiflora*, welche über einer kleinen Flamme stark ausgetrocknet waren, in weniger als einer Minute Wasser in flüssiger Form aus der Laboratoriumsluft in sich nieder (meine Atemluft hielt ich durch Vorhalten von Papier vom Präparate ab).

Durch diese Messungen suchte ich folgende Punkte festzustellen:

1. Leistungsfähigkeit von Kohäsion und Hygroskopizität zusammen; sie ist gegeben in der Totalverkürzung unverletzter Zellen;

2. Leistungsfähigkeit der Kohäsion allein; sie ist gleich der Kontraktion unverletzter Zellen vor dem Auftreten der ersten Gasblase;

3. Leistungsfähigkeit der Hygroskopizität allein; auf ihr beruht die Verkürzung von verletzten Zellen und Zellresten.

Zur Untersuchung wählte ich aus dem mir zur Verfügung stehenden Material solche Antheren, welche große und nicht allzu zarte Faserzellen besitzen; ich untersuchte der Reihe nach: *Lilium candidum*, *Lilium Martagon*, *Tulipa Gesneriana*, *Passiflora*

Tabelle 3.

Lilium Martagon. Unverletzte Zellen.

No.	Breite					Höhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzung in %	Kohäsionsverkürzg.	Idem in %	In Wasser	Trocken	Verkürzung in %
1.	14	9	35,71			20	19	5,00
2.	21	13¼	34,52			23	21	8,69
3.	8¾	5¾	34,28			18	17	5,87
4.	19	14	26,32			24	23	4,17
5.	10	6	40,00			20	19	5,00
6.	14½	9	37,86			19	17	10,52
7.	8¼	5	39,42			22	19	13,63
8.	13½	8	40,72			22	19	13,63
9.	15½	10	35,49			20	18½	7,50
10.	8	5	37,50			19¾	18	8,87
11.	15	10	33,33			27	24¼	13,88
12.	15	10¼	31,67			20	18¼	8,75
13.	15	9	40,00			19¾	18¾	5,06
14.	12½	8	36,00			20½	18¾	8,53
15.	16	10¼	35,94			19	17¾	6,47
16.	14	10	28,57	12½	10,71	18½	17½	5,42
17.	17½	13	25,60	16	8,35	29	27½	5,17
18.	10	6¾	32,50	9	10,00	19	18	5,26
19.	10	7	30,00	9	10,00	27	25¼	6,48
20.	14	10	28,57	12½	10,71	27	25¼	6,48
21.	20	13¼	33,75	18¾	8,75	19	18	5,26
22.	18½	15	18,70	17½	5,40	24	22¼	7,29
23.	14	9¼	33,93	13	7,14	22½	21	6,67
24.	12	8	33,33	11	8,33	17	16	5,87
Mittelwerte:			33,40		8,84	Mittelw.:		7,48

Tabelle 4.

Lilium Martagon. Verletzte Zellen.

No.	Breite			Höhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzung in %	In Wasser	Trocken	Verkürzung in %
1.	12	8	33,33	20	20	0,00
2.	20	15½	22,50	21	19	9,53
3. R.	9	5½	38,89	21	19	9,53
4.	7	4	42,86	20	19	5,00
5.	27	14½	46,29	29	29	0,00
6.	7	4	42,86	22	21	4,54
7.	14¼	8¾	38,59	24	22	8,33
8. R.	10	7	30,00	27	24¼	13,88
9. R.	5	3	40,00	20	18¼	8,75
10.	14	10	28,57	18	17¼	4,16
11.	13	9	30,77	18	17¼	4,16
12.	12	7	41,75	19	18¼	3,95
13.	14	8	42,85	16	14½	9,25
14.	16	10	37,50	23½	22	8,51
15. R.	4	2¼	43,75	19½	19	2,56
16.	19	12½	34,21	21	19½	7,14
17.	14½	8½	44,81	21	20	4,76
18.	15½	9	41,93	20¾	19¾	4,82
19.	18½	13¾	25,67	21¼	19¾	7,08
20.	18	11½	36,11	21	19	9,53
21.	14½	9	35,86	17	16¼	3,82
22.	9½	5	47,37	23	21¼	7,65
23.	11	6¼	43,17	20	18¾	8,75
24.	10½	5½	47,62	22¾	20¼	6,59
25.	14	9¼	33,93	21½	20	6,97
26.	14	9½	32,14	21	20	4,76
Mittelwert:			38,61	Mittelw.:		6,31

coerulea und *Hemerocallis flava*, je 50 Zellen. Die aus diesen Messungen erhaltenen Werte habe ich in den Tabellen 1—10 zusammengestellt, und zwar bei jedem Objekt für verletzte und unverletzte Zellen gesondert. In der ersten Kolonne sind die Zellen fortlaufend nummeriert; ein R neben der Zahl bedeutet, daß es sich um einen Zellrest handelt. In den übrigen Kolonnen sind Breite und Höhe der Zellen in Mikrometerteilstrichen angegeben, und zwar jedesmal die Mittelwerte aus den zwei vorgenommenen

Messungen. Wo diese um einen halben Teilstrich differierten, ergaben sich im Mittelwerte Viertel von Teilstrichen, die an sich nicht mit Sicherheit zu bestimmen wären. Für alle Zeichnungen und Messungen verwandte ich: Zeiß, Obj. D, Oc. 3, Vergr. 320, Mikrometerwert 3,7 μ. — Die Verkürzung ist jeweilen in Prozente umgerechnet und der entsprechende Mittelwert beigefügt.

Tabelle 5.

Tulipa Gesneriana. Unverletzte Zellen.

No.	Höhe					Breite		
	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %	Kohäsionsverkürzg.	Idem in %	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %
1.	12	6	50,00			10	9	10,00
2.	26	17	34,62			15	13	13,33
3.	9	6½	27,78			9	8	11,11
4.	13	9	30,77			13	12	7,69
5.	22	17	22,73			11	9	18,18
6.	9	6	33,33			12	11	8,33
7.	11	8	27,27			12	10½	12,50
8.	9¾	6¾	30,77			13	12½	3,85
9.	21	13	38,99			14	13¼	5,36
10.	14	11	21,43			11	10	9,09
11.	9	7	22,22			8	7½	6,25
12.	21	16	23,81			13½	13	3,70
13.	14	11¾	19,64			12	11½	4,17
14.	14½	11	24,14	13½	6,89	18	17½	2,82
15.	10	7¼	27,50	9	10,00	17	16½	2,94
16.	9	6¾	25,00	8½	5,56	12	11½	4,17
17.	15	12	20,00	13¾	8,33	17½	17	2,86
18.	13	10	23,08	11½	11,54	11	10¼	6,73
19.	13	10	23,08	11½	11,54	8	7¾	3,13
20.	13	9½	26,92	11½	11,54	10½	10	4,76
21.	11¼	8	28,89	10½	6,67	10½	10	4,76
22.	13¾	9½	30,91	12	12,72	10	9½	5,00
23.	12¾	8¼	32,55	11½	9,80	10	9½	5,00
24.	14	9	35,72	12½	10,72	19	18	5,26
25.	12¾	8¾	31,92			16	15½	3,13
26.	19	13½	28,95	17½	7,89	11½	10	13,04
Mittelwerte:			28,08		9,43	Mittelw.:		6,81

Tabelle 6.

Tulipa Gesneriana. Verletzte Zellen.

No.	Breite			Höhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %
1.	10	8	20,00	10	9	10,00
2.	15	8	46,67	15	14	6,67
3.	17	13	23,53	7	6½	7,14
4.	14	10	28,57	17	15	11,76
5.	9	6½	27,79	9	8	11,11
6.	21	13	38,09	15	14	6,67
7.	20	12	40,00	12	11½	4,17
8.	15	10¼	31,67	17	16	5,88
9.	19	14½	28,95	16	15¼	3,95
10. R.	8	5¼	34,38	17	16	5,88
11. R.	15½	9½	38,71	14½	14	3,45
12. R.	5	3¼	35,00	14½	14	3,45
13.	18	14	22,22	17	16¼	4,41
14.	21	15	28,55	11	10	9,09
15.	8¾	5¼	40,00	14	13	7,14
16. R.	8	5¼	35,63	21	20	4,76
17.	14½	10	31,03	13½	13	3,71
18.	14½	9	37,93	15½	14½	6,45
19.	16½	10¼	37,88	24	23¼	3,12
20.	11½	7½	34,78	23	23	0,00
21.	13½	8½	37,04	23	23	0,00
22.	20¾	14	32,53	19	17½	7,89
23.	12½	7	44,00	14	14	0,00
24.	14	7½	46,46	14	14	0,00
25.	18	13	27,22	20	19	5,00
Mittelwert:			33,94	Mittelw.:		5,23

Von den sehr zarten Zellen von *Passiflora* konnte ich nur eine kleine Anzahl unverletzt isolieren; bei den andern ist die Zahl der verletzten und unverletzten Zellen ungefähr gleich.

Die Mittelwerte aus diesen 10 Tabellen sind zum Zwecke der Übersicht in der Tabelle 11 zusammengestellt. Für jedes Objekt sind 3 Mittelwerte angegeben, und zwar die Mittelwerte

a. der unverletzten Zellen,
b. der verletzten Zellen und Zellreste,
c. aller untersuchten Zellen.

Tabelle 7. *Passiflora coerulea.* Unverletzte Zellen.

No.	Breite					Höhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %	Kohäsionsverkürzung	Idem in %	In Wasser	Trocken	Verkürzung in %
1.	14½	10½	27,58			18	17	5,56
3.	12½	9¼	26,00			22	21	4,54
3.	13¾	10½	23,42	13	5,46	10	9½	5,00
4.	13½	9	33,33	13	3,70	16	15	6,25
5.	6	4	33,33			19½	19	2,56
6.	12	7¾	35,42	10½	12,50	14	13¼	5,36
7.	15	9	40,00			19½	19	2,56
8.	5	3¼	35,00			16½	16	3,03
	Mittelwerte:		31,76		7,22		Mittelwert:	4,36

Tabelle 8. *Passiflora coerulea.* Verletzte Zellen.

No.	Breite			Höhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %
1.R.	5	3¼	35,00	14	13½	3,79
2.R.	5	3¾	25,00	14	13½	3,79
3.	7	4¼	39,29	10	9½	5,00
4.	14	10	28,57	14	13½	3,79
5.	11½	7½	34,78	14	13½	3,79
6.	15½	9	40,98	14	13½	3,79
7.	17¼	13½	22,86	15½	15	3,22
8.	15	11	26,67	16	15¼	4,69
9.	14	9	35,71	16	15½	3,13
10.	9½	6	36,84	9	9	0,00
11.	15¼	10¼	32,78	21	20	4,76
12.	9	5	44,44	15½	14¾	4,84
13.R.	13½	9	33,33	17	16	5,88
14.R.	15	9	40,00	14	13½	3,57
15.	12½	9½	24,00	12	11½	4,17
16.R.	14	8	42,86	11¾	11½	2,13
17.	13	8	38,46	17	16¼	4,41
18.R.	7	4½	35,71	17	16¼	4,41
19.	8½	5	41,18	19	18½	2,63
20.	14	9	35,71	11½	11	4,35
21.	16	9	43,75	18½	18	2,70
22.	9	5	44,44	16	15¼	4,75
23.	9½	5¾	39,47	16	15¼	4,75
24.	7	4½	35,71	13¾	13	5,46
25.R.	15	8	46,67	13	12½	3,84
26.	13	7	46,15	8	7½	6,25
27.	10	5¾	47,50	10½	10	4,76
28.	10¼	6	41,46	15	14¼	5,00
29.	12½	8½	32,61	15	14¼	5,00
30.	9¾	6	38,49	10	9¼	7,50
31.	7	5¼	26,43	8½	8	5,29
32.	13	7¾	40,38	8½	8	5,29
33.	7	4½	35,71	14¾	14¼	3,39
34.	12½	7	44,00	12¾	12¼	3,92
35.	15	9	40,00	11¼	10¾	4,44
36.	18½	12½	32,43	14	13¼	5,28
37.	8	5	37,50	20½	20	2,39
38.	11	7	36,36	9½	9	5,26
39.	11½	8	30,47	20	19¼	3,75
40.	7	4½	35,71	20	19¼	3,75
41.	8½	6	29,41	10	9¾	2,50
42.	7½	5	33,33	15	14½	3,33
		Mittelwert:	36,46		Mittelwert:	4,14

Hierbei muß zunächst auffallen, daß die Werte der Breitekontraktion unter b. nicht nur nicht kleiner sind, wie dies nach der Kohäsionstheorie der Fall sein müßte, sondern ausnahmslos sogar größer; die Höhekontraktion ist dagegen mit der einzigen Ausnahme von *Hemerocallis* unter a. größer als unter b. Diese stärkere Breitekontraktion verletzter Zellen hängt mit dem Vorkommen von

Tabelle 9.

Hemerocallis flava. Unverletzte Zellen.

o.	Breite					Höhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %	Kohäsionsverkürzg.	Idem in %	In Wasser	Trocken	Verkürzgt in %
1.	14	8½	39,29	12½	10,71	13	12	7,69
2.	9¾	6	38,46	9	7,69	11	10¼	6,64
3.	15	11½	23,33	13½	10,00	8	7½	6,25
4.	15½	12	22,58	14	9,74	8	7½	6,25
5.	7¼	4¾	34,48	6½	10,34	13	12	7,69
6.	7¼	5	30,34	6½	10,34	11	10	9,09
7.	11¾	8	31,91	10	14,89	12	11½	4,17
8.	4¾	3¼	31,56	4¼	10,52	16	15	6,25
9.	9¾	7	28,20	9	7,69	16	15	6,25
0.	14¼	11	22,81	13	8,78	10½	9½	9,25
1.	5	3½	30,00	4½	10,00	11	10¼	6,82
2.	6¾	4¾	29,72	6	11,14	13¼	12½	5,69
3.	6	4	33,33	5½	8,33	17	16	5,88
4.	9	5½	38,89	8½	5,56	14¾	14	5,08
5.	6	4	33,33	5½	8,33	15	14½	3,33
6.	7	4½	35,71	6½	7,14	16	15½	2,50
7.	5	3½	30,00	4½	10,00	15½	15	3,23
8.	6	4¼	29,17	5½	8,33	15½	15	3,23
9.	5½	4	27,27	4¾	13,64	11	10½	4,54
0.	5¾	4¼	26,08	5¼	8,69	11	10½	4,54
1.	9¼	6¾	27,03	9	2,70	14¾	14¼	3,46
	Mittelwerte:		30,69		8,89	Mittelwert:		5,61

Tabelle 10.

Hemerocallis flava. Verletzte Zellen.

No.	Breite			Höhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %
1.	12	8½	27,50	10¾	10	6,89
2.R.	8½	6¼	28,82	15	14	6,67
3.	10	7	30,00	14	13½	3,53
4.	14	9¼	33,93	17	16	5,88
5.	10	6½	35,00	15	14½	3,33
6.	10	6½	35,00	15	14½	3,33
7.R.	5¼	3½	33,33	10	9	10,00
8.R.	4½	3	33,33	9¾	9	7,68
9.R.	9½	6	36,84	14¼	13½	5,16
10.	8	5¾	28,13	13	12½	3,85
11.R.	5	3½	30,00	13	12¼	5,76
12.	7¾	5¼	32,26	11	10	9,09
13.	10	6¾	32,50	15	14	6,67
14.	14½	10	31,03	11	10	9,09
15.R.	12½	9	28,00	18	16½	8,35
16.	10	6	40,00	16	15	6,25
17.R.	6	3¾	37,50	14	13	7,14
18.R.	4	2½	37,50	17¼	16½	4,35
19.R.	6½	4	38,46	17¼	16½	4,35
20.R.	5½	3½	36,36	17	16½	2,94
21.R.	10½	7	33,33	16¼	15¼	6,15
22.	11¾	7¾	34,04	8½	8¼	3,12
23.	8½	6	29,41	10¾	10	6,97
24.	10	7	30,00	12½	12	4,00
25.	6½	4	38,46	8½	8	5,88
26.	8½	5	41,17	13	12½	3,85
27.	12	8	33,33	14	13	7,14
28.R.	6½	4	38,46	14	13	7,14
29.	11½	8	30,43	8½	8	5,88
			Mittelwert: 33,59			Mittelwert: 5,81

Rissen parallel der Faserrichtung zusammen; auch Zellen, die nicht mehr ihre vollständige Breite besaßen, zeigten stärkere prozentuale Verkürzung als andere. Zuerst glaubte ich, eine Erklärung darin zu finden, daß sich die Membranen beim Austrocknen an den Rißstellen vielleicht übereinander legten; doch zeigten mir einige Beobachtungen deutlich die Unhaltbarkeit dieser Annahme. Es klafften nämlich die Risse, die sich mir im Mikroskop von der Fläche

zeigten, nach dem Austrocknen bedeutend stärker als vorher. (Um die Breitekontraktion dieser Zellen zu erhalten, habe ich von der Gesamtbreite die Breite des Risses jeweilen abgezogen.) Die Erklärung dieses merkwürdigen Verhaltens verletzter Zellen muß also anderswo liegen und kann hier nicht gegeben werden; im 2. Teile der vorliegenden Arbeit werde ich darauf zurückkommen. Ich gebe hier nur noch an, bei welchen verletzten Zellen, die sich stark kontrahierten, Längsrisse vorkamen; es sind dies bei

Lilium candidum (Tab. 2) die Zellen 10, 13, 15, 16, 18, 23;
Lilium Martagon (Tab. 4) die Zellen 5, 6, 15, 17, 18, 21, 24;
Tulipa Gesneriana (Tab. 6) die Zellen 11, 15, 18;
Passiflora coerulea (Tab. 8) die Zellen 6, 14, 19, 34, 38;
Hemerocallis flava (Tab. 10) die Zellen 16, 17, 25, 26.

Tabelle 11. Mittelwerte aus den Tabellen 1—10.

		Zahl der untersuchten Zellen	Mittlere Verkürzungen in %	
			Breite	Höhe
Lilium candidum	a.	25	32,56	4,03
	b.	23	34,56	3,20
	c.	48	33,10	3,63
Lilium Martagon	a.	24	33,40	7,48
	b.	26	38,61	6,31
	c.	50	36,06	6,87
Tulipa Gesneriana	a.	26	28,08	6,81
	b.	25	33,94	5,23
	c.	51	31,16	6,03
Passiflora coerulea	a.	8	31,76	4,36
	b.	42	36,46	4,14
	c.	50	35,69	4,25
Hemerocallis flava	a.	21	30,69	5,61
	b.	29	33,59	5,81
	c.	50	32,37	5,73

Aus Tabelle 11 geht mit Sicherheit hervor, daß sich verletzte Zellen nicht weniger verkürzen als unverletzte. Es ist demnach die rein hygroskopische Kontraktion nicht geringer als jene, welche durch Kohäsion und Hygroskopizität veranlaßt wird. Die Kohäsion hat also selbst bei isolierten Zellen, wo die im Zellverband vorhandenen Widerstände wegfallen, auf die Größe der Gesamtverkürzung keinen Einfluß.

Die Höhekontraktion ist im Vergleich zu der der Breite unbedeutend; sie ist umso kleiner, je größer diese ist und beträgt im allgemeinen etwa 5%.

Um die Leistungsfähigkeit der Kohäsion allein zu ermitteln, habe ich nach der S. 10 angegebenen Methode eine Anzahl Messungen gemacht und ihre Ergebnisse in die Tabellen 3, 5, 7 und 9 ein-

getragen. Beim ersten behandelten Objekt, *Lil. candidum,* war ich durch die anfänglichen Schwierigkeiten so sehr in Anspruch genommen, daß es mir nicht gelang, eine größere Anzahl Kohäsionsverkürzungen genau zu messen; aus meinen bezüglichen Beobachtungen will ich deshalb nur anführen, daß sich *Lil. candidum* prinzipiell nicht anders verhält, als die übrigen untersuchten Objekte.

In Tabelle 12 ist jeweilen die mittlere Kohäsionsverkürzung zusammengestellt mit der totalen mittleren Verkürzung der nämlichen Zellen.

Tabelle 12. Mittlere Kohäsionsverkürzung.

	Zahl der untersuchten Zellen	Mittlere Kohäsionsverkürzung	Mittlere totale Verkürzung derselben Zellen
Lil. Martagon	9	8,84 %	29,33 %
Tulipa Gesneriana	12	9,43	27,23
Passiflora coerula	3	7,22	30,22
Hemerocallis flava	21	8,89	30,69

Die Kohäsionsverkürzung beträgt demnach bei isolierten Zellen, also im günstigsten Falle, $^1/_4$ *(Passiflora)* bis etwas mehr als $^1/_3$

Tabelle 13. *Lilium candidum.*

Breiteverkürzung bis 30 %		Breiteverkürzung 30—40 %		Breiteverkürzung über 40 %	
No., =Tab. 1 u. 2.	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) und Breite.	No., =Tab. 1 u. 2.	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) u. Breite.	No., Tab. 1 u. 2.	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) und Breite.
Tab. 1.					
2.	20 : 20 = 1,00	1.	16 : 28 = 0,57	4.	20 : 21 = 0,95
7.	$21^1/_2$: 23 = 0,94	3.	6 : 20 = 0,30	5.	7 : 24 = 0,29
9.	15 : 27 = 0,56	11.	$9^1/_2$: 25 = 0,38	6.	8 : 23 = 0,35
10.	14 : 27 = 0,52	16.	15 : 21 = 0,43	8.	15 : 21 = 0,43
14.	19 : 23 = 0,83	24.	17 : 17 = 1,00	12.	5 : 19 = 0,26
15.	21 : 22 = 0,96	25.	19 : 21 = 0,90	13.	10 : 26 = 0,38
17.	12 : 22 = 0,55	7.	15 : 26 = 0,58	23.	14 : 25 = 0,56
18.	14 : 21 = 0,67	11.	12 : 23 = 0,52	2.	7 : 24 = 0,29
19.	$12^1/_2$: 21 = 0,59	22.	$16^1/_2$: 16 = 1,03	4.	16 : 22 = 0,73
20.	14 : 21 = 0,67		Mittel: 0,63	10.	5 : 19 = 0,26
21.	$12^1/_2$: 21 = 0,59			13.	11 : 23 = 0,48
22.	19 : 20 = 0,95			15.	$10^1/_2$: 19 = 0,55
Tab. 2.				17.	12 : 20 = 0,60
3.	25 : 20 = 1,25			18.	10 : 22 = 0,45
8.	$13^1/_2$: 25 = 0,54			23.	$15^1/_2$: 22 = 0,70
9.	10 : 25 = 0,40				Mittel: 0,49
14.	20 : 21 = 0,95				
19.	14 : 22 = 0,64				
21.	12 : 17 = 0,71				
	Mittel: 0.73				

(Tulipa) der Gesamtverkürzung; sie ist somit verhältnismäßig schwach und reicht sicher nicht aus zur Hervorbringung der großen Verkürzungen (30—50 %), die bei der Öffnung der Antheren stattfinden. Auch als notwendiges Hilfsmittel kommt sie nicht in Betracht, da sich die Kontraktion isolierter Zellen bei Ausschluß der Kohäsion als nicht geringer erweist. Damit ist freilich eine tatsächliche Beteiligung der Kohäsion am natürlichen Öffnungsvorgang nicht ausgeschlossen, und es muß im folgenden die Frage in Berück-

Tabelle 14. *Lilium Martagon.*

Breiteverkürzung bis 30 %		Breiteverkürzung 30—40 %		Breiteverkürzung über 40 %	
No., = Tab. 3 u. 4.	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) und Breite.	No., = Tab. 3 u. 4.	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) u. Breite.	No., = Tab. 3 u. 4.	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) und Breite.
4.	19 : 24 = 0,79	1.	14 : 20 = 0,70	5.	10 : 20 = 0,50
16.	14 : 18½ = 0,76	2.	21 : 23 = 0,91	8.	13½ : 22 = 0,62
17.	17½ : 29 = 0,60	3.	8¾ : 18 = 0,48	13.	15 : 19¾ = 0,76
20.	14 : 27 = 0,52	6.	14½ : 19 = 0,71	4.	7 : 20 = 0,35
22.	28½ : 24 = 0,77	7.	8¼ : 22 = 0,38	5.	27 : 29 = 0,93
5.	20 : 20 = 1,00	9.	15½ : 20 = 0,77	6.	7 : 22 = 0,32
10.	14 : 18 = 0,78	10.	8 : 19¾ = 0,41	12.	12 : 19 = 0,63
19.	18½ : 21¼ = 0,86	11.	15 : 27 = 0,56	13.	14 : 16 = 0,87
	Mittel: 0,75	12.	15 : 20 = 0,75	17.	14½ : 21 = 0,69
		14.	12½ : 20½ = 0,61	18.	15½ : 20¾ = 0,74
		15.	16 : 19 = 0,84	22.	9½ : 23 = 0,41
		18.	10 : 19 = 0,52	23.	11 : 20 = 0,55
		19.	10 : 27 = 0,37	24.	10½ : 22¾ = 0,46
		21.	20 : 19 = 1,05		Mittel: 0,63
		23.	14 : 22½ = 0,62		
		24.	12 : 17 = 0,71		
		1.	12 : 23 = 0,52		
		7.	14¼ : 24 = 0,59		
		11.	13 : 18 = 0,72		
		14.	16 : 23½ = 0,68		
		16.	19 : 21 = 0,90		
		20.	18 : 21 = 0,86		
		21.	14¼ : 17 = 0,84		
		62.	14 : 21 = 0,67		
			Mittel: 0,68		

sichtigung gezogen werden, ob eine solche vorhanden ist. Jedenfalls ist sie, entsprechend der geringen Leistungsfähigkeit der Kohäsion, nicht bedeutend und vor allem nicht notwendig. —

Die Größe der Totalverkürzung ist bei den einzelnen Zellen großen Schwankungen unterworfen; die größte und die kleinste Verkürzung, welche ich an Zellen desselben Objektes beobachtete, zeigen Unterschiede über 30 % (vgl. Tab. 1—10). Dabei ist ferner auffallend, daß solche extreme Werte nicht gerade selten sind. Wenn man, um einen Anhaltspunkt zu haben, jene Zellen in ihrem Verhalten als extrem bezeichnet, deren Verkürzung von

Tabelle 15. *Tulipa Gesneriana.*

Breiteverkürzung bis 30 %				Breiteverkürzung 30—40 %				Breiteverkürzung über 40 %			
No., = Tab. 5 u. 6.	Verhältnis zwischen Höhe (1) und Breite.			No., = Tab. 5 u 6.	Verhältnis zwischen Höhe (1) u. Breite.			No., = Tab 5 u. 6.	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) und Breite.		
3.	9	: 9	= 1,00	2.	26	: 15	= 1,60	1.	12	: 10	= 1,20
5.	22	: 11	= 2,00	4.	13	: 13	= 1,00	3.	15	: 15	= 1,00
7.	11	: 12	= 0,91	6.	9	: 12	= 0,75	15.	$8^3/_4$	: 14	= 0,62
10.	14	: 11	= 1,27	8.	$9^3/_4$	: 13	= 0,75	23.	$12^1/_2$	: 14	= 0,89
11.	9	: 8	= 1,11	9.	21	: 14	= 1,50	24.	14	: 14	= 1,00
12.	21	: $13^1/_2$	= 1,56	22.	$13^3/_4$	: 10	= 1,37			Mittel:	0,94
13.	14	: 12	= 1,17	23.	$12^3/_4$	: 10	= 1,28				
14.	$14^1/_2$	: 18	= 0.85	24.	14	: 19	= 0,74				
15.	10	: 17	= 0,59	25.	$12^3/_4$	: 16	= 0,79				
16.	9	: 12	= 0,75	6.	21	: 15	= 1,40				
17.	15	: $17^1/_2$	= 0,86	8.	15	: 17	= 0,88				
18.	13	: 11	= 1,18	11.	$15^1/_2$	: $14^1/_2$	= 1,07				
19.	13	: 8	= 1,63	17.	$14^1/_2$	: $13^1/_2$	= 1,08				
20.	13	: $10^1/_2$	= 1,24	18.	$14^1/_2$	: $15^1/_2$	= 0,93				
21.	$14^1/_4$	: $10^1/_2$	= 1,38	19.	$16^1/_2$	: 24	= 0,69				
26.	19	: $11^1/_2$	= 1,65	20.	$11^1/_2$	: 23	= 0,50				
1.	10	: 10	= 1,00	21.	$13^1/_2$	: 23	= 0,61				
3.	17	: 7	= 2,43	22.	$20^3/_4$	: 19	= 1,09				
4.	9	: 9	= 1,00				Mittel: 1,00				
5.	14	: 17	= 0,82								
9.	19	: 16	= 1,19								
13.	18	: 17	= 1,06								
14.	21	: 11	= 1,91								
25.	18	: 20	= 0,90								
		Mittel:	1,22								

Tabelle 16. *Passiflora coerulea.*

Breiteverkürzung bis 30 %				Breiteverkürzung 30—40 %				Breiteverkürzung über 40 %			
No., = Tab. 7 u. 8.	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) und Breite.			No., = Tab. 7 u. 8.	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) u. Breite.			No., = Tab. 7 u. 8.	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) und Breite.		
1.	$14^1/_2$	: 18	= 0,81	4.	$13^1/_2$	: 16	= 0,84	7.	15	: $19^1/_2$	= 0,77
2.	$12^1/_2$	: 22	= 0,57	5.	6	: $19^1/_2$	= 0,31	6.	$15^1/_4$	: 14	= 1,09
3.	$13^3/_4$	: 10	= 1,37	6.	12	: 14	= 0,89	12.	9	: $15^1/_2$	= 0,58
4.	14	: 14	= 1,00	8.	5	: $16^1/_2$	= 0,30	19.	$8^1/_2$	: $19^1/_2$	= 0,43
7.	$17^1/_2$	: $15^1/_2$	= 1,13	3.	7	: 10	= 0,70	21.	16	: $18^1/_2$	= 0,86
8.	15	: 16	= 0,94	5.	$11^1/_4$	: 14	= 0,80	22.	27	: 16	= 0,56
15.	$12^1/_2$	: 12	= 1,04	9.	14	: 16	= 0,88	27.	10	: $10^1/_2$	= 0,95
31.	7	: $8^1/_2$	= 0,82	10.	$9^1/_2$	: 9	= 1,05	28.	$10^1/_4$	: 15	= 0,68
		Mittel:	0,96	11.	$15^1/_4$	: 21	= 0,74	34.	$12^1/_2$	: $12^3/_4$	= 0,98
				17.	13	: 17	= 0,76			Mittel:	0,77
				20.	14	: $11^1/_2$	= 1,22				
				29.	$12^1/_2$	: 15	= 0,90				
				30.	$9^3/_4$	: 10	= 0,97				
				36.	$18^1/_2$	: 14	= 1,32				
				38.	11	: $9^1/_2$	= 1,16				
				39.	$11^1/_2$	: 20	= 0,58				
							Mittel: 0,84				

der bezüglichen mittleren Verkürzung um mindestens 10 % verschieden ist, so erhält man auf die 249 untersuchten Zellen 31 mit extremem Verhalten, d. h. 12,45 % oder rund $^1/_8$. Dies ist ein bedeutender Bruchteil und weist darauf hin, daß man im Verallgemeinern vorsichtig sein muß und daß die Resultate einer geringen Anzahl von Versuchen leicht irreführend sein können.

Bei meinen Messungen fiel mir noch ein Umstand auf, den ich näher prüfen zu sollen glaubte. Ich erkannte nämlich, daß

Tabelle 17. *Hemerocallis flava.*

Breiteverkürzung bis 30 %		Breiteverkürzung 30—40 %		Breiteverkürzung über 40 %	
No. = Tab. 9 u. 10	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) u. Breite	No. = Tab. 9 u. 10	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) u. Breite	No. = Tab. 10	Verhältnis zwischen Höhe (= 1) u. Breite
3.	15 : 8 = 1,87	1.	14 : 13 = 1,07	16.	10 : 16 = 0,62
4.	$15^1/_2$: 8 = 1,94	2.	$9^3/_4$: 11 = 0,88	25.	$8^1/_2$: 13 = 0,65
9.	$9^3/_4$: 16 = 0,61	5.	$7^1/_4$: 13 = 0,56		Mittel: 0,63
10.	$14^1/_4$: $10^1/_2$ = 1,36	6.	$7^1/_4$: 11 = 0,66		
12.	$6^3/_4$: $13^1/_4$ = 0,47	7.	$11^3/_4$: 12 = 0,98		
18.	6 : $15^1/_2$ = 0,38	8.	$4^3/_4$: 16 = 0,29		
19.	$5^1/_2$: 11 = 0,50	11.	5 : 11 = 0,45		
20.	$5^3/_4$: 11 = 0,52	13.	6 : 17 = 0,35		
21.	$9^1/_4$: $14^3/_4$ = 0,63	14.	9 : $14^3/_4$ = 0,61		
1.	12 : $10^3/_4$ = 1,11	15.	6 : 15 = 0,40		
10.	8 : 13 = 0,62	16.	7 : 16 = 0,44		
23.	$8^1/_2$: $10^3/_4$ = 0,69	17.	5 : $15^1/_2$ = 0,30		
	Mittel: 0,88	3.	10 : 14 = 0,71		
		4.	14 : 17 = 0,82		
		5.	10 : 15 = 0,67		
		6.	10 : 15 = 0,67		
		12.	$7^1/_2$: 11 = 0,70		
		13.	$14^1/_2$: 11 = 1,32		
		14.	$14^1/_4$: $16^1/_2$ = 0,61		
		22.	$11^3/_4$: $8^1/_2$ = 1,31		
		24.	10 : $12^1/_2$ = 0,80		
		25.	$6^1/_2$: $8^1/_2$ = 0,78		
		27.	12 : 14 = 0,86		
		29.	$11^1/_2$: 8 = 1,44		
			Mittel: 0,84		

die Zellen im allgemeinen sich umso stärker kontrahieren, je weniger breit sie im Verhältnis zu ihrer Höhe sind. Ich suchte, dieses Verhalten zahlenmäßig zu prüfen und teilte zu diesem Zwecke die Zellen nach der Stärke ihrer Kontraktion in drei Kategorien ein, je nachdem die Verkürzung bis 30 % (exklusive), 30—40 % (exklusive), bezw. 40 % und mehr betrug. Durch Division der Breite der Zellen durch ihre Höhe erhielt ich einen Zahlenwert für ihr gegenseitiges Verhältnis bezogen auf: Höhe = 1. Diese Berechnungen sind in den Tabellen 13—17 angegeben; zur Kontrolle ist immer die Nummer der betr. Zelle aus den Tab.

1—10 beigefügt; aus den das Verhältnis angebenden Zahlen habe ich den Mittelwert berechnet.

Die Zellreste müssen hier außer Rechnung fallen, da sie nicht mehr die ursprüngliche Höhe oder Breite der Zelle besitzen.

Zur Übersicht diene

Tabelle 18. Mittelwerte aus den Tabellen 13—17.

Mittleres Verhältnis von Zellbreite zu Zellhöhe	Verkürzung bis 30 %	30—40 %	über 40 %
Lil. candidum	0,73 : 1	0,63 : 1	0,49 : 1
Lil. Martagon	0,75	0,68	0,63
Tulipa Gesner.	1,22	1,00	0,94
Passiflora coerul.	0,96	0,84	0,77
Hemerocallis fl.	0,88	0,84	0,63

Aus dieser Zusammenstellung ist zu ersehen, daß die Zunahme der Kontraktion bei der Abnahme der relativen Breite der Zellen eine allgemeine Regel ist. Es gibt freilich auch hier Zellen mit extremem Verhalten, d. h. breite Zellen, die sich stark, und schmale Zellen, die sich schwach kontrahieren; es ist daher die gefundene Regel nicht als strenges Gesetz anzusehen. Auffallend ist, daß die relativ hohen Zellen gegen das Konnektiv an Zahl zunehmen.

d) Zusammmenfassung.

1. Als Ursache der definitiven Öffnung und Kontraktion der Antherenklappen kommt nur die hygroskopische Schrumpfung in Betracht; denn

α) die Kohäsionswirkung allein beträgt im günstigsten Falle, wenn sie nämlich in allen Zellen gleichzeitig und gleichmäßig wirkt, im Durchschnitt kaum ein Drittel der Gesamtverkürzung; dieser günstigste Fall ist aber in der Natur nie verwirklicht;

β) die Gesamtverkürzung ist nicht geringer bei Ausschluß der Kohäsion.

2. Eine tatsächliche Mitwirkung der Kohäsion beim Öffnen in natura ist hiedurch nicht ausgeschlossen; doch ist eine solche Mitwirkung, wenn sie überhaupt vorhanden ist, nicht bedeutend und vor allem nicht notwendig.

3. Die Zellen verkürzen sich im allgemeinen umso energischer, je weniger breit sie im Verhältnis zur Höhe sind.

4. Die Höhekontraktion der Zellen ist im Vergleich zur Breiteverkürzung geringfügig und im allgemeinen zu dieser umgekehrt proportioniert.

Zunächst muß sich nun die Frage aufdrängen: Wie ist es bei der geringen Leistungsfähigkeit der Kohäsion möglich, daß einige Forscher auf Grund ihrer Versuche die Antherenöffnung auf Kohäsion zurückführten? Möglicherweise waren jene Versuche

derart, daß bei ihnen der für die Kohäsion günstigste Fall erreicht wurde oder dann lagen Fehlerquellen vor, welche das Resultat wesentlich beeinflußten. Auf diese letzte Möglichkeit weist schon der Umstand hin, daß die Beobachtungen der einzelnen Autoren sich in manchen Punkten direkt widersprechen.

Ich habe mich darum bemüht, möglichst alle bereits vorliegenden Versuche, die beim heutigen Stand der Frage noch in Betracht kommen, noch einmal in ausgedehnter Weise vorzunehmen, um mir ein Urteil über sie zu ermöglichen. Diesem Zwecke dienen die folgenden Kapitel des ersten Teiles der vorliegenden Arbeit.

2. Kapitel. Über den Luftgehalt der Antheren während der Öffnung. Öffnen der Antheren in feuchter Luft.

a) Bisherige Beobachtungen.

Schon in der Einleitung habe ich darauf aufmerksam gemacht, daß in bezug auf die Frage, ob die Luft in den Zellen vor oder nach der Öffnung auftritt, direkt entgegengesetzte Angaben vorliegen. Die ersten Untersuchungen hierüber stammen von Steinbrinck und Brodtmann und zwar beide aus dem Jahre 1898; sie widersprechen sich gegenseitig. Brodtmann (S. 41) hat „an Tangentialschnitten von Antheren und ebenso an Querschnitten stets erst einige Zeit nach dem Auftreten der Blasen beobachtet, daß ein Schrumpfen eintrat." Steinbrinck stellte dagegen (1898, S. 102) an isolierten Faserzellen von *Crocus* und *Tulipa*, die er durch Mazeration erhalten hat, Schwärzung fest erst nach der Kontraktion. Bei Querschnitten war das Resultat anders (S. 100). „Sogar nachdem der ganze Querschnitt im durchfallenden Lichte schwarz geworden war, blieb er längere Zeit, etwa eine halbe Minute lang, noch bewegungslos"; doch hält Steinbrinck diese Versuche nicht für beweisend; denn es sei nicht ausgeschlossen, „daß die nicht sichtbaren mittleren Zellen der Schnitte während der Vollziehung der Krümmung der Klappenarme noch wassergefüllt waren."

Im Gegensatz zu Steinbrinck konstatierte Schwendener (1899, S. 102): „Die Öffnungsbewegung einer Antherenklappe beginnt erst, wenn alle Flüssigkeit aus dem Lumen der Zelle verschwunden . . . ist . . . Das Präparat (Querschnitt) bleibt vollkommen unbeweglich, bis die Faserzellen entleert sind." Hierbei ließ Schwendener seine Objekte nicht auf dem Objektträger liegen, sondern befestigte sie zur Vermeidung des Anklebens auf einer Nadelspitze.

1899 (S. 170f.) berichtet Steinbrinck wieder über bezügliche Beobachtungen; er fand hierbei zum Teil gar keine Blasen, zum Teil aber Blasen neben flüssigkeiterfüllten Zellen. Leider fehlen quantitative Angaben über das Verhältnis zwischen den Zellen, die Luft bezw. Flüssigkeit enthalten, während doch solche Angaben für die Frage nach der Öffnungsursache sehr wichtig sind. Denn entsprechend der Zahl der lufthaltigen Zellen wird auch ihr Anteil am Öffnungsvorgang zu beurteilen sein.

Colling betrachtete die Frage nach dem Auftreten der Gasblasen als eine seiner Hauptaufgaben und bemerkt: „Ich habe meine Untersuchungen mit doppelter Sorgfalt angestellt und vor allem darauf geachtet, daß die obersten, angeschnittenen Zellen bei der Beobachtung außer Betracht kamen.“ Er fand „bei vier Arten die Bewegung vor der Schwärzung, bei dem Rest, über 100 Arten, dagegen nach der Schwärzung“.

Gegen dieses Resultat wandte sich Steinbrinck 1906 (S. 722, Anm.): „Aus Collings Pflanzenliste habe ich . . . nahezu 20 Arten . . . herausgegriffen.“ Bei „trockenen Antheren, deren Fächer weit klaffen und den Staub freigegeben haben, deren Klappen aber noch nicht stark geschrumpfelt sind“, wird man, „(wenn nicht etwa ein zu weit vorgeschrittenes Stadium des Wasserverlustes getroffen worden ist) das Faserzellgewebe saftgefüllt und klar vor sich sehen. Bei späteren Stadien ist dieses klare Gewebe stellenweise durch Gruppen blasenhaltiger schwarzer Zellen unterbrochen . . .“ Bei diesen Feststellungen breitete Steinbrinck die unverletzten, geöffneten Antherenfächer mit der Innenseite nach oben auf dem Objektträger aus und prüfte die Flächenansicht mikroskopisch. „Benützt man ein Deckglas, so tut man gut, die Luft zwischen dem Objekt und dem Glase vorher durch einen Tropfen Öl zu verdrängen.“ — Hier wird also auf einen Unterschied im Luftgehalt bei verschiedenen Öffnungsstadien hingewiesen; quantitative Angaben, auf die es vor allem ankommt, fehlen.

Bezügliche Versuche von Schneider beschränkten sich auf isolierte Zellen; sie wurden bereits im 1. Kapitel angeführt.

Auch Hannig hat die Luftfüllung geprüft (S. 202, 204, 212); seine Schnitte untersuchte er nicht nur unter Öl, sondern stellte sie auch unter Öl her. Er fand, daß die Gasblasen nur den angeschnittenen Zellen aufsaßen (Fig. S. 204); im Innern des Schnittes fanden sich häufig zu Beginn der Öffnung keine oder nur vereinzelte Blasen.

An dieser Stelle sollen noch Hannigs Versuche über „Öffnen der Antheren in absolut feuchter Luft“ (S. 197 ff.) erwähnt werden, da sie ebenfalls zur Frage nach dem Luftgehalt gehören. Hannig beobachtete, daß Antheren von *Lilium umbellatum* und *Butomus umbellatus* in der feuchten Kammer sich öffneten, sofern sie hierbei vom Sonnenlicht getroffen wurden, indem sie sich durch Lichtabsorption stärker erwärmten, als die sie umgebende Luft. Schnitte von derartig geöffneten Antheren, welche Hannig unter Öl herstellte und unter Öl untersuchte, erwiesen sich als mit Flüssigkeit gefüllt; die Zellen ließen „den plasmatischen bezw. wässrigen Inhalt“ (S. 202) direkt erkennen.

b) Bemerkungen zu den bisherigen Resultaten.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß neben der Zeit des Auftretens der Gasblasen auch ihre relative Häufigkeit ins Auge gefaßt werden muß. Im vorigen Kapitel habe ich gezeigt, daß die Schrumpfung in den Faserzellen der Antheren 3—4mal leistungsfähiger ist als die Kohäsion. Es ist somit unter der Annahme, daß jede Kraft

für sich ungehindert zur Wirkung gelange, die Hygroskopizität, wenn sie nur in einem Drittel der Zellen aktiv ist, bereits ebenso wirksam wie die Kohäsion in sämtlichen übrigen Zellen. Untersuchungen über das allmähliche Zunehmen der lufterfüllten Zellen geben darum ein Mittel zur Feststellung, wieviel die Kohäsion und wieviel die Schrumpfung beim Öffnungsvorgang tatsächlich leisten.

Zu diesem Zwecke sind möglichst große Flächenansichten von Klappen zu verwenden. Diese lassen sich nach meiner Erfahrung aber nicht wohl auf der Nadelspitze untersuchen; auch wenn sie trocken auf den Objektträger gelegt werden, heben sich die lufthaltigen Zellen nicht mit genügender Deutlichkeit von den übrigen ab, weil die Epidermis bezw. das Tapetum über der Faserzellschicht liegen. Es erweist sich als notwendig, die Klappen in einer Flüssigkeit unter einem Deckgläschen zu beobachten; es sind dann die Luftblasen viel deutlicher zu sehen.

Steinbrinck und Hannig untersuchten ihre Objekte unter Öl. Dabei unterließen sie es aber, zuerst die Frage zu prüfen, ob nicht allfällig vorhandene Luft aus den Zellen durch die Untersuchungsflüssigkeit verdrängt wird. Daß Flüssigkeiten die Luft speziell in dynamischen Geweben mitunter schnell verdrängen, konstatierte z. B. Steinbrinck (1899, S. 230) an Elateren von *Frullania dilatata;* ganz trockene Stücke erschienen bei Zusatz von Glyzerin „oft ihrer ganzen Länge nach sofort hell".

Zur Prüfung der Frage, ob aus den Antherenzellen Luft durch Öl verdrängt wird, verwandte ich zunächst dünne Schnitte von vollständig trockenem Holundermark, die ich in Olivenöl legte. Sie erschienen zwar im Mikroskop schwarz; doch befanden sich die Luftblasen meist nicht mehr im Zellinnern, da die Größe der Blasen diejenige der Zelle oft überschritt; auch ließen sich die Blasen entfernen, wenn ich den Schnitt durch Darüberstreichen mit der Nadel abwischte. Antherenklappen, die schon Monate lang trocken gelegen hatten, zeigten in Olivenöl bereits nach wenigen Sekunden in einem bedeutenden Teil der Zellen flüssigen Inhalt; die Schwärzung war äußerlich, indem die Luftblasen an Unebenheiten der Epidermis und der Schnittflächen hängen blieben; auch hier konnten sie mit der Nadel leicht entfernt werden. Im binokularen Mikroskop, und bei schwacher Vergrößerung auch im gewöhnlichen Mikroskop, konnte ich direkt beobachten, wie schon in den ersten Minuten nach dem Einlegen der Objekte in Öl Luftblasen aus ihren Zellen aufstiegen.

Auf diese Weise erklärt sich leicht, daß Hannig die meisten Zellen mit Flüssigkeit gefüllt und die Luftblasen außerhalb der Zellen fand, da er die Schnitte sogar unter Olivenöl herstellte; die Antheren waren dabei jedenfalls längere Zeit unter Öl, so daß dasselbe Gelegenheit hatte, einzudringen, und bei den Bewegungen des Schneidens wurden ohne Zweifel viele außen anhängende Luftblasen abgeschüttelt.

Es liegt also hier eine Fehlerquelle vor, die nicht vernachlässigt werden darf, und es ist auffällig, daß die Beobachtungen Brodtmanns, Schwendeners und Collings ohne Öl vorgenommen wurden.

c) Eigene Untersuchungen.

Zunächst mußte ich darauf sehen, eine Methode ausfindig zu machen, welche die erwähnte Fehlerquelle möglichst vermeidet. Am einfachsten wäre es, die Untersuchungen ohne jede Flüssigkeit vorzunehmen, doch konnte ich von dem Gebrauch einer solchen nicht absehen, weil bei größeren Flächenansichten von Klappen die lufthaltigen Zellen sich nicht deutlich genug abheben. Ich prüfte darum eine Anzahl von Flüssigkeiten auf die Schnelligkeit, mit der sie Luft aus Präparaten vertreiben, so: Gelatine (10, 20, 30, 40%), Glyzeringelatine, dickflüssig gewordenes Immersionsöl, Paraffin von solchem Schmelzpunkt, daß es bei Zimmertemperatur eben noch flüssig blieb, Kanadabalsam und Wasserglas. Es ergab sich durch Versuche mit Holundermark und Antherenstücken, daß in sämtlichen genannten Flüssigkeiten sich die Luft in den Zellen nicht besser erhält, als bei Anwendung von Olivenöl; es wurde sofort ein beträchtlicher Teil der Luft aus den Präparaten verdrängt. Ich kehrte deshalb zu Olivenöl zurück.

Zur Untersuchung verwandte ich meist ganze Klappen oder doch große Stücke von solchen. So ist die Möglichkeit ausgeschlossen, Präparate zu erhalten, die gerade zufällig sehr viel oder sehr wenig Luft aufweisen. Die Klappen löste ich vom Konnektiv mit einer feinen Schere ab, da sich mit einer solchen schneller arbeiten läßt als mit einem Messer. Auf schnelles Arbeiten ist deshalb zu achten, weil sonst während des Präparierens Luft in die Zellen eintreten kann.

Ich legte die Klappen trocken auf den Objektträger und brachte neben das Objekt sofort einen Tropfen Öl. In diesen stellte ich ein Deckgläschen mit einer Kante und ließ es dann auf das Objekt fallen. So wird es in demselben Moment, wo es in das Öl zu liegen kommt, vom Gläschen bedeckt, und die Luft wird zum größten Teil am Entweichen gehindert. Bei mehreren solchen Präparationen, die ich unter dem Mikroskop vornahm, konnte ich direkt beobachten, daß nur wenige Luftblasen aus dem Präparat entwichen; ganz konnte ich dies nicht verhindern. — Man kann auch auf das trocken liegende Objekt ein Deckgläschen aufsetzen und dann das Öl vom Rande kapillar hineinsaugen lassen; nur gelingt es dann meist nicht, alle auf und neben dem Objekt befindliche Luft aus dem Präparate zu entfernen.

Auf diese Weise untersuchte ich den Luftgehalt bei verschieden weit vorgeschrittener Öffnung. Um die Resultate miteinander vergleichen zu können, unterschied ich im Öffnungsvorgang folgende vier Stadien:

1. Stadium: Beginn der Öffnung, Naht eben gerissen, die Klappen jedoch noch geschlossen;
2. Stadium: Klappen zurückgebogen; die Antheren noch in der ursprünglichen Länge;
3. Stadium: Anthere auf die Hälfte der Gesamtverkürzung kontrahiert;
4. Stadium: Anthere vollständig verkürzt.

Von den Präparaten fertigte ich mit dem Prisma Zeichnungen an (Zeiß, Oc. 3, Obj. A od. D), wobei ich immer einen möglichst großen Teil der Klappe in das Gesichtsfeld zu bekommen suchte. In die Zeichnungen trug ich die lufthaltigen Zellen genau ein; diese befanden sich durchaus nicht etwa, wie Hannig angibt, am Rande des Präparates, sondern waren ziemlich gleichmäßig in der Klappe verteilt und füllten die Zellen vollständig. Selbstverständlich zeichnete ich nur jene Luftblasen ein, die sicher sich innerhalb der Zellen befanden, was daran unzweifelhaft zu erkennen war, daß die Grenzen der Blasen mit denen der Zellen zusammenfielen und daß die Fasern über die Blase hinweggriffen.

Auf diese Weise untersuchte ich Antheren von *Tulipa Gesneriana, Fritillaria meleagris, Lilium candidum, L. Martagon, L. bulbiferum, Campanula persicifolia, Papaver Rhoeas, Aquilegia vulgaris, Tropaeolum maius, Colchicum autumnale* in den verschiedenen Öffnungsstadien.

Den prozentualen Luftgehalt suchte ich durch Wägung zu bestimmen, indem ich die Zeichnungen ausschnitt, wog und nachher die lufthaltigen Zellen herausschnitt und diese selbst oder den zurückgebliebenen Teil der Zeichnung wieder wog. Aus den so erhaltenen Zahlen läßt sich der relative Luftgehalt des gezeichneten Klappenstückes angeben. — Von *Tulipa Gesneriana, Lilium candidum, L. Martagon* und *Colchicum autumnale* habe ich eine größere Anzahl von Zeichnungen hergestellt und gewogen; die Resultate hieraus sind in den unten folgenden Tabellen 19—22 zusammengestellt. Die Zahlen der an den übrigen Antheren angestellten Versuche mitzuteilen, halte ich nicht für nötig, da sie weniger zahlreich sind; im wesentlichen stimmen sie mit den Zahlen der Tabellen 19—22 überein.

Nach Hannigs Methode beobachtete ich auch das Verhalten von Antheren in der feuchten Kammer. Seine Angaben kann ich, mit Ausnahme derjenigen über den Luftgehalt der Antheren, in vollem Umfange bestätigen für *Tulipa Gesneriana, Lilium candidum, L. Martagon, L. bulbiferum, Campanula persicifolia.* Dagegen öffneten sich in der feuchten Kammer auch bei Besonnung nicht die Antheren von *Fritillaria meleagris, Aquilegia vulgaris, Iris germanica, I. pseudacorus;* bei *Papaver Rhoeas* riß die Naht, doch schlugen die Klappen nicht zurück und verkürzten sich nicht. Die sich nicht öffnenden Antheren ließ ich immer so lange in der feuchten Kammer, bis die Kronblätter abfielen oder wegen der Feuchtigkeit zu faulen begannen; die Versuche wurden erst abgebrochen, nachdem Kontrollantheren in den gleichen Entwicklungsstadien sich schon mehrere Tage geöffnet hatten.

Die Antheren, welche sich in der feuchten Kammer bei Besonnung öffnen, tun dies auch bei Bestrahlung mit künstlichem, z. B. elektrischem Licht.

Daß sich die Antheren in feuchter Kammer im dunkeln Thermostaten nicht öffnen, hat bereits Hannig festgestellt; wohl aber tritt Öffnung ein unter dem Einfluß strahlender Wärme, die ich mit Hilfe von zwei berußten Glühlampen (zu 16 Kerzen) herstellte; die

Temperatur stieg im Innern der feuchten Kammer bei diesen Versuchen auf 42° C.

Der einzige Punkt, in dem meine Beobachtungen von denen

Tabelle 19. *Tulipa Gesneriana.*

1. Stadium			2. Stadium			3. Stadium		
	Gewicht der Zeichnung in g			Gewicht der Zeichnung in g			Gewicht der Zeichnung in g	
	Gesamtgewicht	Luftblasen allein	Luftgehalt in %	Gesamtgewicht	Luftblasen allein	Luftgehalt in %	Gesamtgewicht	Luftblasen allein	Luftgehalt in %
F.K.	0,39	0,12	30,76	FK. 0,095	0,055	57,89	F.K. 0,27	0,18	66,67
F.K.	0,165	0,035	21,21	0,375	0,145	39,46	0,13	0,12	92,31
	0,195	0,045	23,08	0,32	0,14	43,75	0,16	0,15	93,75
	0,35	0,095	27,14	0,23	0,10	43,48	F.K. 0,39	0,37	94,87
	0,275	0,075	27,56	0,15	0,065	43,33	0,175	0,16	91,43
	0,27	0,07	25,96	0,165	0,075	45,45	0,15	0,14	93,33
	0,37	0,11	29,73	0,19	0,085	45,26	F.K. 0,17	0,15	88,23
	0,335	0,09	26,86	0,155	0,075	48,39			
	0,49	0,12	24,49						
	0,115	0,025	21,74						
	0,245	0,09	36,73						
	0,34	0,095	27,91						
	0,40	0,095	23,75						
	Mittelwert:		26,76	Mittelwert:		45,88	Mittelwert:		88,66

Tabelle 20. *Lilium Martagon.*

1. Stadium			2. Stadium			3. Stadium		
	Gewicht der Zeichnung in g			Gewicht der Zeichnung in g			Gewicht der Zeichnung in g	
	Gesamtgewicht	Luftblasen allein	Luftgehalt in %	Gesamtgewicht	Luftblasen allein	Luftgehalt in %	Gesamtgewicht	Luftblasen allein	Luftgehalt in %
F. K.	0,09	0,01	11,11	0,27	0,10	37,04	0,28	0,26	92,86
	0,185	0,025	13,50	0,31	0,12	38,71	0,08	0,07	87,50
F.K.	0,32	0,035	10,94	0,30	0,145	48,33	0,115	0,10	86,94
	0,16	0,015	9,38	0,175	0,045	25,71	0,22	0,195	88,64
	0,155	0,03	19,35	0,325	0,07	21,63	0,07	0,055	78,57
	0,295	0,04	13,58	0,31	0,075	24,91	0,06	0,045	75,00
F.K.	0,27	0,035	12,96	0,145	0,035	24,14	0,12	0,10	83,53
	0,21	0,045	21,43	0,195	0,08	41,02	0,18	0,16	88,89
	0,16	0,02	12,50	0,12	0,045	37,50	0,16	0,145	90,62
	0,07	0,01	14,29	0,18	0,065	36,11	0,195	0,18	92,32
	0,28	0,03	10,72	0,19	0,045	23,68	0,115	0,095	82,61
							0,18	0,135	75,00
	Mittelwert:		13,61	Mittelwert:		32,56	Mittelwert:		85,19

Hannigs wesentlich abweichen, ist der Luftgehalt der in der feuchten Kammer sich öffnenden Antheren. Es ist dies bei der Verschiedenheit der Arbeitsmethoden nicht auffallend; auch ich fand

die Antheren, wenn ich sie unter Öl schnitt, bis auf wenige Stellen mit Flüssigkeit gefüllt. Wandte ich dagegen die beschriebenen Vorsichtsmaßregeln an, so zeigten die betreffenden Antheren im Luftgehalt keinen Unterschied von denen, die sich normal bis auf das gleiche Stadium geöffnet hatten. Die entsprechenden Wägungs-

Tabelle 21. *Lilium candidum.*

1. Stadium			2. Stadium			3. Stadium		
Gewicht der Zeichn. in gr		Luftgehalt in %	Gewicht der Zeichn. in gr		Luftgehalt in %	Gewicht der Zeichn. in gr		Luftgehalt in %
Gesamtgewicht	Luftblasen allein		Gesamtgewicht	Luftblasen allein		Gesamtgewicht	Luftblasenallein	
0,06	0,005	8,33	0,36	0,21	58,33	0,425	0,36	85,41
0,33	0,03	9,09	0,375	0,19	50,67	0,37	0,295	79,73
0,295	0,03	10,17	0,26	0,105	40,40	0,26	0,22	84,62
0,345	0,035	10,13	0,37	0,215	58,11	0,34	0,275	80,88
0,35	0,035	10,00				0,45	0,345	76,67
0,23	0,025	10,87				0,43	0,315	73,26
0,345	0,05	14,49				0,35	0,31	88,57
0,295	0,04	13,56				0,235	0,21	89,36
0,42	0,08	19,05				0,39	0,30	76,92
0,22	0,04	18,18				0,40	0,33	82,50
0,265	0,04	15,09				0,17	0,155	79,41
						0,23	0,205	89,13
Mittelwert: 12,63			Mittelwert: 51,88			Mittelwert: 82.21		

Tabelle 22. *Colchicum autumnale.*

1. Stadium			2. Stadium		
Gewicht der Zeichnung in gr		Luftgehalt in %	Gewicht der Zeichnung in gr		Luftgehalt in %
Gesamtgewicht	Luftblasen allein		Gesamtgewicht	Luftblasen allein	
0,295	0,08	27,09	0,39	0,24	61,54
0,39	0,105	26,91	0,195	0,14	71,78
0,22	0,05	22,73	0,245	0,17	69,39
0,215	0,065	30,23	0,335	0,205	61,18
0,24	0,05	20,83	0,265	0,175	66,04
0,19	0,05	26,32	0,26	0,215	82,69
0,39	0,085	21,79	0,39	0,33	84,67
0,31	0,08	25,81	0,41	0,325	79,27
0,24	0,08	33,33	0,32	0,27	84,37
0,25	0,085	34,00	0,345	0,30	86,95
Mittelwert: 26,90			Mittelwert: 74,79		

resultate sind in die Tabellen 19 und 20 eingetragen und durch F. K. (= „Feuchte Kammer“) hervorgehoben.

Die Tabellen beziehen sich auf die 3 ersten Öffnungsstadien; die Klammern bedeuten, daß die betreffenden Zeichnungen zu derselben Klappe gehören. Im 4. Stadium waren die Klappen völlig mit Luft gefüllt; die Beträge für den Luftgehalt waren über 95%; das Manko bis zu 5% ist auf Rechnung der Versuchsfehler zu setzen und belanglos.

Zur Übersicht diene

Tabelle 23.

Mittlerer Luftgehalt in verschiedenen Öffnungsstadien.

	1. Stadium	2. Stadium	3. Stadium
	%	%	%
Tulipa Gesneriana	26,76	45,88	88,66
Lilium candidum	12,63	51,88	82,21
Lilium Martagon	13,61	32,56	85,19
Colchicum autum.	26,90	74,79	ganz luft-erfüllt

Es ist somit schon bevor eine Öffnungsbewegung eintritt $^1/_8$ bis $^1/_4$ der Zellen lufthaltig, und zwar füllt die Gasblase, was besonders hervorgehoben sei, soweit sichtbar das ganze Lumen der betr. Zellen, so daß ihre nachfolgende Verkürzung rein hygroskopisch sein muß. Bei *Tulipa* ist schon im ersten Stadium Kohäsion und Hygroskopizität im Gleichgewicht, da diese etwa dreimal stärker ist als jene; bei *Tulipa* und *Lilium candidum* überwiegt die Hygroskopizität bereits beim Zurückklappen, vor der eigentlichen Verkürzung (2. Stadium) bedeutend. Im 3. Stadium, wenn also die Verkürzung zur Hälfte vollendet ist, sind die kohäsiv wirkenden Zellen nur noch eine unbedeutende Minderheit. Bei *Colchicum* trat dies schon im 2. Stadium ein, und die Antheren waren im 3. Stadium vollständig mit Luft gefüllt.

Bei diesen Angaben ist stets in Erwägung zu ziehen, daß sie kleinste Werte darstellen, weil auch bei der beschriebenen Methode immer etwas Luft entweicht und sich so der Messung entzieht.

d) Zusammenfassung.

1. Beobachtung unter Öl liefert nur dann zuverlässige Resultate, wenn Vorsorge getroffen wird, daß möglichst wenig Luft durch das Öl aus den Zellen verdrängt wird. Die Methode Hannigs, die Schnitte sogar unter Öl herzustellen, ist unbrauchbar.

2. Schon beim Reißen der Naht sind über 10% der Faserzellen lufthaltig.

3. Eine nennenswerte Beteiligung der Kohäsion an der Öffnungsbewegung ist nur denkbar bis zur Geradestreckung der Klappen; nachher überwiegt auf jeden Fall die Schrumpfung.

4. Im feuchten Raum öffnen sich bei Insolation sowie unter dem Einfluß strahlender Wärme die Antheren mancher Pflanzen; andere Pflanzen öffnen ihre Antheren unter denselben Umständen nicht.

5. Antheren, welche sich in der feuchten Kammer geöffnet haben, zeigen in bezug auf Luftfüllung dasselbe Verhalten wie normal geöffnete.

3. Kapitel. Über Faltenbildung der dünnen Membran.

a) Bisherige Beobachtungen.

Wie in der Einleitung schon bemerkt wurde, liegen in bezug auf Faltenbildung der dünnen Faserzellmembranen direkt widersprechende Angaben vor. Es ist dabei zu beobachten, daß, wie Steinbrinck

(1898, S. 99) hervorhebt, nicht jede Faltung für Kohäsionsmechanismus beweisend ist; „mäßige oder teilweise“ Faltung genügt nicht, da man „diese Ausweichungen etwa den unregelmäßigen Widerständen der verbogenen Fasern und der Einwirkung der Nachbarzellen zur Last legen darf.“ Es sind vielmehr „stark eingestülpte Quetschfalten zwischen den zusammengepreßten Verdickungsfasern“ erforderlich.

Sowohl Schinz, welcher als erster Falten beobachtete, als Steinbrinck bei seiner ersten bezüglichen Veröffentlichung (1895, S. 59) hielten die beobachteten Falten nicht für Kohäsionsfalten. Schinz führt sie (S. 29) auf „ungleiche Quellung verschiedener Schichten“ zurück und Steinbrinck (1895, S. 59) bemerkt, daß die radialen Fasern, „wenn sie genügend ausgesteift sind, der Membran eine kegelartige Einwölbung aufnötigen, die an einen geöffneten Regenschirm erinnert“. Erst seit 1898 spricht Steinbrinck von Kohäsionsfalten; er verweist (1901, S. 556) auf die Figuren: 1, 2, 3, 4, 9 in der Schwendener-Festschrift, sowie auf Fig. 15, 18, 21, 25 der Dodonaea (1895); eine andere Figur findet sich im Biologischen Zentralblatt (1906, S. 672, Fig. 9). Im Gegensatz hiezu fand Schwendener (1899, S. 103) die Membranen „straff gespannt, ohne jemals Falten zu bilden“.

Brodtmann und Colling bestritten, daß das Vorhandensein von Faltungen für Kohäsionsmechanismus beweiskräftig sei. Brodtmann gibt als Grund an, es müsse „die Membranfalte, welche in die eine Zelle eingestülpt wird, notwendig aus der Nachbarzelle ausgestülpt werden. Es müßte also in jeder zweiten Zelle die Kohäsionskraft des Wassers nicht wirken oder kleiner sein als in der ersten. Das ist jedenfalls ein logischer Schluß, aber eine Unmöglichkeit“. Diese Argumentation Brodtmanns scheint mir nicht zwingend. Durch die Falten soll das Zellumen so verringert werden, wie es dem verminderten Wassergehalte entspricht, und diese Volumenverkleinerung wird dadurch nicht aufgehoben, daß neben Einstülpungen auch Ausstülpungen vorkommen.

Die Bemerkungen von Brodtmann und Colling weisen im Grunde nur auf den schon von Steinbrinck aufgestellten Satz hin, daß nicht jede Falte als Kohäsionsfalte angesprochen werden darf, sondern daß eine solche als „Zerknitterung“ der Radialwände auftreten muß. Die Beobachtungen Steinbrincks, wie er sie in den zitierten Figuren veröffentlicht hat, sind durch die erwähnten theoretischen Erörterungen Brodtmanns und Collings nicht entkräftet; wichtiger scheint mir die Beobachtung Collings (S. 19), er habe „nur ungefaltete Außenwände der Faserzellen“ gefunden.

Eingehend behandelt Schneider (1908, S. 72 ff.) „die Membranfalten und die elastische Entfaltung nach Steinbrinck“. Dieser hatte das Material, von dem die Figuren stammen, nach Paraffineinbettung mit dem Mikrotom oder nach Befestigung auf erwärmtem Siegellack mit dem Rasiermesser geschnitten (vgl. Steinbrinck, 1901, S. 555) und Schneider bemerkt hierzu (S. 74): „Daß eine nachher vorliegende, wirkliche Zerknitterung der so äußerst dünnen Membranen zwischen den festen Fasern als normaler Zustand betrachtet wird, ist nicht zulässig.“ Hierauf erwidert Steinbrinck (1909, S. 303): „Nun stelle man sich aber einmal

vor, die starken Verbiegungen ganzer Zellen, die starke Faltung ihrer Membranen, die gemeinsam in Schnitten trockner Antheren oft das Bild knäuelartiger, fast unentwirrbarer Verschlingungen hervorbringen, träten in den betreffenden ausgetrockneten Objekten erst als Folge der Paraffineinbettung oder der Xylolbehandlung auf. Wie groß müßte die dadurch herbeigeführte Kontraktion dieser Gewebe notwendigerweise sein! Von einer derartigen, nachträglichen, künstlich bewirkten Kontraktion ist aber nach Maßgabe entsprechender Messungen durchaus nichts zu merken!" — Außerdem wendet sich Schneider gegen die Zeichnungen Steinbrincks und hebt den Umstand hervor, daß die zusammengehörenden Figuren, welche das betreffende Gewebe vor und nach der Wasserabgabe zur Darstellung bringen, nicht die nämlichen, sondern jeweilen andere Zellen wiedergeben. So fehlen „die richtigen Vergleiche" und deshalb auch „die Basis für einen zwingenden Beweis in irgendwelcher Richtung." Diesen Einwand Schneiders übergeht Steinbrinck in seiner Antwort.

Hannig hat sein Material zur Beobachtung von Falten weder in Paraffin eingebettet noch auf Siegellack befestigt, sondern von demselben unter Öl mäßig dicke Tangentialschnitte hergestellt. Er fand Falten, die er als Kohäsionsfalten ansieht und die er in Figur 5 (S. 213) wiedergibt, welche ich besonderer Beachtung empfehle. Sie ist stark verschieden von denen Steinbrincks; die von diesem geforderten Zerknitterungen fehlen vollständig. Hannig beschreibt die Verhältnisse wie folgt: „Die Fasern schließen bei geöffneter Anthere so eng aneinander, daß kaum mehr etwas von der dünnen Membran zu sehen ist. Es scheint vielmehr Verdickungsleiste neben Verdickungsleiste zu liegen und schon oberflächliches Zusehen läßt erkennen, daß die Leisten der aneinanderstoßenden Zellen ineinander greifen, wie man die Finger zweier Hände ineinander schiebt." Er spricht dann von Verbiegungen und Faltungen der dünnen Membran; die Figur 5, II, welche eine „ganz einwandfreie", tiefer liegende Zelle wiedergibt, zeigt aber keine Falten der dünnen Membran zwischen den Faserköpfen, sondern geradlinigen Verlauf; die Fasern liegen freilich nicht in einer Geraden, sondern drücken sich in das Lumen der benachbarten Zelle hinein.

Zweifellos entsprechen diese von Hannig beobachteten Falten nicht den Bedingungen, welche Steinbrinck für Kohäsionsfalten aufstellt; es ist aber deshalb nicht ausgeschlossen, daß sie durch Kohäsion entstanden sind. Es soll darum im folgenden untersucht werden, ob Falten der dünnen Membran vorkommen, welche Gestalt sie besitzen und auf welche Kräfte sie eventuell zurückzuführen sind.

b) Eigene Untersuchungen.

Zunächst prüfte ich Schnitte, die ich mit dem Mikrotom und ohne Vorbehandlung mit dem Rasiermesser hergestellt hatte, um mir über die Beobachtungen Steinbrincks und Hannigs ein Urteil zu ermöglichen. Im übrigen ist der Wert dieser Untersuchungen beschränkt, da sie mit unkontrollierbaren Fehlern verbunden sind. So

läßt sich nicht entscheiden, ob nicht durch den Druck des Messers Falten hervorgerufen werden, und bei der Paraffineinbettung kann die Vorbehandlung des Materials durch entwässernde und härtende Flüssigkeiten die Form desselben verändert haben. Ich fand, daß trockene Antheren von *Tulipa Gesneriana* und *Lilium candidum*, die 9 mm lang waren, beim Einlegen in Alkohol sich auf ca. 12 mm verlängerten und diese Länge in allen folgenden bei der Paraffineinbettung gebräuchlichen Medien beibehielten. Dieser Umstand ist an sich für die Beweiskraft der Beobachtungen Steinbrincks an Mikrotomschnitten günstig; denn wenn selbst die durch das Einbetten wieder verlängerten Antheren die von Steinbrinck abgebildeten starken Zerknitterungen aufweisen, so ist anzunehmen, daß diese Faltungen in vollständig verkürzten Antheren eher noch stärker seien. —

Zur Nachprüfung der Befunde Steinbrincks und Hannigs untersuchte ich mit Ölimmersion folgende Objekte:

α) Mikrotomschnitte von:
Tulipa Gesneriana, radial längs, 20 μ dick;
tangential längs, 30 μ dick;
Lilium candidum, tangential und radial längs, 30 μ dick;
Lilium Martagon, dito;
Iris germanica, dito;
Leucoïum vernum, dito;
Passiflora coerulea, dito;
Digitalis purpurea, radial und tangential längs, 20 μ dick.

β) Von Hand mit dem Rasiermesser hergestellte tangentiale Längsschnitte von *Tulipa Gesneriana*, *Lilium candidum*, *Lilium Martagon*. Um Deformationen zu vermeiden, habe ich die Objekte nicht auf erwärmtem Siegellack befestigt, sondern die Klappen einfach quer über den linken Zeigfinger gelegt und mit Mittelfinger und Daumen derselben Hand festgehalten.

Alle Präparate stammten von trockenen Antheren.

Bei beiden Arten von Schnitten konnte ich tatsächlich Falten der dünnen Membran an den Radialwänden konstatieren, und zwar entsprachen sie in ihrer Form genau der Beschreibung, welche Hannig von ihnen gibt: Fasern von benachbarten Zellen greifen ineinander und die dünne Membran ist jeweilen außen um sie herum gelegt, so daß die Fasern sich immer an der konkaven Seite der Falte, und zwar an der Stelle der größten Ausbiegung, befinden (vgl. Hannig, S. 213, Fig. 5, II). Zwischen den Fasern aber verlaufen die dünnen Membranen, genau wie in der Figur Hannigs, gerade; von einer eigentlichen Faltung der dünnen Membran selbst ist also nicht die Rede. Ferner sind die beschriebenen Falten verschwindende Ausnahmen; in einem Mikrotomschnitt, der eine Klappe beinahe vollständig getroffen hat, finden sich etwa 3—5 Stellen, welche deutlich derartige Falten zeigen; im übrigen fehlen sie oder ist ihr Vorkommen zweifelhaft.

Faltungen der epidermalen Tangentialwände stellt Steinbrinck dar in den Figuren 15, 18, 21, 25 der Dodonaea und in Fig. 9 der Schwendener-Festschrift. Colling fand keine derartigen

Falten und meine Beobachtungen stimmen mit den seinen überein. Man erhält zwar oft den Eindruck, als ob Falten vorhanden wären; doch rührt dies daher, daß die Faserenden nicht in einer Geraden liegen und die sie bedeckende dünne Membran deshalb auf- und absteigt. Bei genauem Zusehen kann man bei jeder Biegungsstelle der Membran ein Faserende finden; dazwischen verläuft die Membran gerade.

Falten, wie sie Steinbrinck abbildet (bes. Biol. Centr. 1906, S. 672, Fig. 9c), konnte ich nirgends beobachten, trotzdem ich z. T. Antheren derselben Pflanzen untersuchte. Es scheint mir, daß jene Zeichnungen von solchen Stellen des Präparates stammen, die bei der Herstellung zufällig stark deformiert wurden. Darauf deutet die Angabe Steinbrincks, die Arbeitsmethode betreffend, hin (1901, S. 555) „Ich benutze Paraffinmaterial. Ich bringe die Schnitte sofort auf den Objektträger, setze wiederholt Xylol zu, um das Paraffin zu entfernen und verdränge dann das Xylol durch absoluten Alkohol. Dieser läßt die vorher kaum sichtbaren und sehr durchsichtigen Schnitte sofort undurchsichtig-grauweiß erscheinen. So bieten sich auch sehr kleine und zarte Schnittstückchen dem Auge sehr deutlich dar und lassen sich leicht nach Wunsch zusammenrücken und gruppieren.“ Es ist kaum anzunehmen, daß die „sehr dünnen und zarten Schnittstücke“ bei der Verschiebung auf dem Objektträger keine Formveränderung erfahren haben, da ja die Gruppierung erst nach der Auflösung des Paraffins vorgenommen wurde.

Um diese Fehlerquelle zu vermeiden, habe ich die Mikrotomschnitte sofort auf dem Objektträger festgeklebt mit Hilfe einer äußerst fein zerteilten Schicht einer Mischung Collodium-Nelkenöl. Aus dieser Lage kamen die Schnitte nicht wieder heraus, da sie während der Behandlung mit Xylol kleben blieben und nachher sofort in Kanadabalsam eingeschlossen wurden. —

Die besprochenen Versuche mit Schnitten halte ich, wie bereits bemerkt, nicht für beweisend und habe sie lediglich im Interesse einer vorläufigen Orientierung ausgeführt. Wichtiger sind Untersuchungen von ganzen Klappen, weil hier Deformationen weniger zu befürchten sind. An solchen soll im folgenden untersucht werden, ob Falten auch im undeformierten Zustande vorkommen, welche Gestalt sie haben und wodurch sie entstanden sind.

Ich untersuchte ganze, trockene Klappen von *Tulipa Gesneriana*, *Lilium candidum* und *Lilium Martogon* unter Olivenöl und fand auch hier Falten wie bei den Schnittpräparaten, doch waren sie hier noch seltener. Die von Steinbrinck und Hannig beobachteten Falten dürften demnach zum Teil auf Deformation zurückzuführen sein; zum Teil aber sind sie, wenigstens in der Form, wie sie Hannig beobachtet hat, auch in undeformierten, trockenen Klappen vorhanden. Auf Hygroskopizität können diese Falten nicht zurückgeführt werden; wohl aber liegt der Gedanke nahe, sie seien vielleicht durch die anfänglich wirksame Kohäsion entstanden, hätten sich später, da ja das Füllwasser nicht in allen

Zellen gleichzeitig reißt, nicht wieder ausgleichen können und hätten sich so auch während der nachfolgenden hygroskopischen Verkürzung erhalten.

Zur Prüfung der Frage, wie weit diese Erklärungsmöglichkeit zutrifft, mußte ich versuchen, das Entstehen einer solchen Falte im Mikroskop zu beobachten. Hierzu ist nur ein Objekt tauglich, welches im unverletzten Zustande die Faserschicht möglichst deutlich zur Beobachtung darbietet; Antheren mit mehreren Schichten von Faserzellen oder einschichtige mit großer Epidermis sind nicht geeignet. Ich wählte unter dem mir zur Verfügung stehenden Material Antheren von *Lilium Martagon*, weil diese nur eine Faserzellschicht und eine dünne Epidermis besitzen, welche die Beobachtung von Faserzellmembranen in intakten Klappen nicht hindert.

Die Klappen legte ich im vollständig wasserdurchtränkten Zustand auf den Objektträger und beobachtete sie während des ganzen Verlaufs des Austrocknens. Es ergab sich, daß die wenigen Falten, die sich überhaupt beobachten lassen, nicht nur schon vor dem Auftreten der Luftblasen vorhanden sind, sondern schon zu einer Zeit, wo die Klappen noch vollständig von Wasser umgeben sind bezw. in demselben schwimmen, also bevor von einem Austrocknen überhaupt die Rede sein kann.

Weil ich hier mit starken Vergrößerungen, meist mit Öl-Immersion, arbeiten mußte, hatte ich die im Wasser liegenden Klappen mit einem Deckgläschen zugedeckt; es konnten also jene Falten durch den Druck desselben entstanden sein. Um diesen auszuschalten, unterstützte ich das Deckgläschen und zwar am zweckmäßigsten durch Unterlegen zweier Deckgläschen. Es darf nämlich das Deckglas nur äußerst wenig über das Objekt gehoben werden, weil sich sonst starke Objektive wegen ihres geringen Objektabstandes nicht mehr verwenden lassen. Die Unterstützung durch Deckgläschen genügt völlig, da die Klappen von *Lilium Martagon* eine Dicke von ca. $^1/_{10}$ mm, die Gläschen eine solche von $^1/_6$ mm besitzen. Davon, daß die Objekte nicht gedrückt wurden, konnte ich mich außerdem durch ein einfaches Mittel überzeugen; ich schob das Deckglas auf den untergelegten Gläschen hin und her; bewegte sich hierbei die darunter liegende Klappe nicht, so bestand jedenfalls kein Kontakt zwischen Deckglas und Objekt.

Auch bei solchen Klappen, die sicher nicht vom Deckglas gedrückt waren und ganz in Wasser lagen, konnte ich nun mehrmals, freilich als seltene Ausnahmen, Falten von der beschriebenen Art beobachten. Wegen ihrer Seltenheit mußte ich die Klappen wiederholt genau absuchen, um die Falten überhaupt zu finden. Diese können hier nicht durch Kohäsion entstanden sein, da sie unabhängig von jedem Wasserverlust und vor ihm vorhanden sind. Sie sind jedenfalls auf Ungleichheiten in der Ausbildung der Fasern zurückzuführen.

Bei *Tulipa*, wo ich wegen der Mehrschichtigkeit intakte Klappen nicht untersuchen konnte, konstatierte ich an einer

stellenweise freipräparierten trockenen Faserschicht, daß die vorhandenen Falten bei Wasserzusatz nicht zurückgingen.

c) Zusammenfassung.

1. An den Radialwänden lassen sich sowohl bei Schnittpräparaten als auch bei intakten Klappen in der Trockenheit Falten der dünnen Membran beobachten. Diese Falten sind dadurch bedingt, daß die Fasern der einzelnen Zellen ineinander übergreifen; die Fasern liegen immer im konkaven Teil der Biegung; zwischen ihnen verläuft die Membran gerade.

2. Die epidermalen Tangentialwände der Faserzellen zeigen keine Kohäsionsfalten.

3. Die unter 1. beschriebenen Falten sind seltene Ausnahmen.

4. Sie sind unabhängig von jedem Wasserverlust, also nicht durch Kohäsion entstanden, und beruhen auf einer abnormalen Ausbildung der betreffenden Fasern.

4. Kapitel. Über das Verhalten dünner Querschnitte.

a) Bisherige Beobachtungen.

Steinbrinck spricht wiederholt von einem auffallenden Verhalten dünner Querschnitte, welches er als Beweis für die Kohäsionstheorie anführt, so 1898, S. 101; 1899, S. 103f; 1906, S. 722, wo er zwei Figuren beigibt; sie sind bei Schneider (1908, S. 52) kopiert. Es handelt sich um dünne Querschnitte, bei denen „recht viele der Griffzellen geöffnet sind“ (1909, S. 103, ebenda das folgende Zitat). Befinden sich die Schnitte in Öffnungsstellung und werden sie dann in Wasser gelegt, so schließen sie sich. Diese Schließung beruht aber nach Steinbrinck nicht auf Membranquellung, sondern „lediglich auf der Entspannung der Membranen, die durch das in den Faltenkomplex eindringende Wasser aus ihrem Starrezustand erlöst sind.“ Verdrängt man nämlich das Wasser durch Alkohol absol., so nimmt die Festigkeit des Schnittes ohne erhebliche Formänderung zu, und man kann dann die Schnitte auf der Nadel frei austrocknen lassen. „Sie ändern nun ihre Form um so weniger, je zarter sie sind, die Kontraktion erreicht auch nicht entfernt das gewöhnliche Maß, das man an ganzen Antheren wahrnimmt. Gröbere Querschnitte mit zahlreichen nicht geöffneten Griffzellen bleiben dagegen bei gleicher Behandlung in dieser Hinsicht hinter ganzen Klappen nicht zurück.“ — Biol. Centralblatt 1906, S. 723: „ . . beruhte die Austrocknungsbewegung der Antheren auf Membranschrumpfung, so wäre nicht einzusehen, warum ein dünner Schnitt sich anders verhalten sollte, als ein dickerer.“

Ich werde unten im Anschluß an Schneider darauf hinweisen, daß dieser letzte Satz Steinbrincks, auf welchem seine Argumentation eigentlich beruht, in dieser Allgemeinheit nicht richtig ist. Denn wenn die Zellen nicht mehr vollständig erhalten sind, so ist mit dem Wegfall eines Teils ihrer Membranen auch die hygroskopische Wirksamkeit der Zellen beeinträchtigt.

Die bezüglichen Beobachtungen Steinbrincks stoßen bereits bei Brodtmann (1898) auf Widerspruch; er fand (S. 42) „bei ganz dünnen Schnitten von *Lilium peregrinum*, welche nur aus einer einzigen Zellschicht bestanden, deren Wände selbst hier und da verletzt und deren Fasern sogar mitunter teilweise angeschnitten waren, daß diese recht wohl imstande waren, eine Bewegung auszuführen, natürlich am stärksten bei den unverletzten Zellen." Die angeschnittenen Zellen bewegten sich auch, aber schwächer.

Eingehend befaßt sich Schneider (1908, S. 51ff) mit den angeführten Angaben Steinbrincks. Er hält es für wahrscheinlich, daß der dünne Querschnitt, welchen Steinbrinck im Biol. Centralbl. abbildet, auf der Unterlage festgeklebt sei, da ja so dünne Schnitte unmöglich sich an der Nadel in der Luft horizontal halten können. Außerdem macht Schneider (S. 53) die prinzipiell wichtige Bemerkung: „Auf jeden Fall waren die Fasersysteme verstümmelt. Damit fällt aber einerseits ein Teil der Energie in jeder Zelle weg und anderseits tritt notwendig eine bedeutende Änderung des Zusammenwirkens der noch übrigen Energien in den zerschnittenen Fasersystemen ein. Dadurch kann die Überwindung des Reibungswiderstandes zur Unmöglichkeit werden oder es kann die veränderte Tendenz des Zusammenwirkens der verminderten Schrumpfungsenergien sogar eine Richtung annehmen, welche gar keine Ein- oder Zurückkrümmung der invaliden Klappenarme mehr anstrebt."

Nach seiner Angabe aus dem Jahre 1898 (S. 100) stellte Steinbrinck die dünnen Querschnitte her „aus freier Hand (ohne Kork- oder Holundermarkhülle)"; später berichtet er nicht mehr über die Herstellung der Schnitte. Schneider bemerkt deshalb in Rücksicht auf die von ihm kopierte Figur (S. 52): „Steinbrinck sagt nicht, ob er diesen Schnitt durch ein Mikrotom oder von freier Hand ohne Paraffineinbettung erhielt. Im ersten Falle ging der Schnitt durch Verhärtungsflüssigkeiten, wodurch der Versuch an Bedeutung viel verliert. Im zweiten Falle ist es mehr als wahrscheinlich, daß der feine Schnitt mit den durchschnittenen Zellen an verschiedenen Stellen beim Überführen auf den Objektträger auseinandergefallen ist und dort nur noch durch die Cuticula den Zusammenhang behielt, wie mich viele Erfahrungen lehren."

Gegen diese Kritik Schneiders erhebt Steinbrinck Einspruch (1909, S. 304): „Es ist ja bequem, wenn sich Schneider in seiner Dissertation . . hinsichtlich des Verhaltens der dünnen Antherenquerschnitte beim Austrocknen damit abfindet, eine von mir gegebene Zeichnung eines solchen mache ganz den Eindruck, daß der Schnitt am Objektträger angeklebt gewesen sei. Warum hat er denn die betreffenden Versuche, um sich ihrer zu vergewissern, nicht selbst wiederholt?" Auf die übrigen Ausführungen Schneiders geht Steinbrinck nicht ein.

b) Bemerkungen zu den bisherigen Beobachtungen.

Auf die „elastische Schwellung", welche Steinbrinck als Grund angibt für die Schließbewegung der trockenen Querschnitte in

Wasser sowie der Antheren überhaupt, habe ich keine Veranlassung, speziell einzugehen. Colling (S. 22f.) hat nachgewiesen, daß sie jedenfalls für solche Faserzellen abzulehnen ist, deren Fasern auf der Locularwand nicht miteinander verbunden sind, also für Ring- und U-Faserzellen; ebenso trifft sie für *Tulipa* nicht zu, wie dies Schneider (S. 73) nachweist auf Grund einer Reihe von Tatsachen, die ich nicht nur für *Tulipa*, sondern für alle von mir untersuchten isolierten Faserzellen bestätigen kann. Ich will nur darauf hinweisen, daß die Theorie von der elastischen Schwellung aufs engste mit der Kohäsionstheorie zusammenhängt und von Steinbrinck nicht direkt, sondern nur durch diese bewiesen wird. —

Bei der Beurteilung der Beweiskraft des Verhaltens dünner Querschnitte darf die Bemerkung Schneiders nicht, wie dies von Steinbrinck geschehen ist, ignoriert werden. Sind nämlich von einer Zelle Teile weggeschnitten, so ist in jedem Falle, ob nun Kohäsion oder Hygroskopizität die Ursache der Bewegung sei, auch ein Teil der sonst vorhandenen Energie ausgeschaltet. —

Die Methode, dünne Querschnitte mit nur angeschnittenen Zellen von Hand herzustellen, dürfte kaum zuverlässig sein. Um sich hierüber Klarheit zu verschaffen, ist vor allem festzustellen, wie dick ein Schnitt sein darf, wenn noch alle Zellen sicher angeschnitten sein sollen. Meine Messungen an isolierten Zellen ergaben als kleinste Breite derselben bei

	Im Wasser:	Trocken:
Tulipa Gesneriana	33 μ	22 μ
Lilium candidum	29 μ	17 μ
Lilium Martagon	23 μ	15 μ
Passiflora coerulea	18 μ	11 μ

Es dürfen demnach bei *Tulipa* die Schnitte nur 20 μ, bei den übrigen nur 10—15 μ dick sein, wenn man sie im Trockenzustande herstellt und sicher alle Zellen angeschnitten sein sollen. Von Hand, sogar, wie dies Steinbrinck angibt, ohne Holundermark, derartige Schnitte herzustellen, scheint mir ausgeschlossen; auch mit Hilfe eines Handmikrotoms gelang es mir nicht, zusammenhängende Schnitte von der erforderlichen Feinheit zu erhalten. So dünne Schnitte können sich auch nicht auf einer Nadelspitze frei in die Luft gestreckt halten, wenigstens nicht im nassen Zustand. Jene Schnitte, die bei Steinbrinck auf der Nadel die Klappen horizontal in die Luft streckten, waren entweder durch den Alkohol gehärtet, oder dann waren sie so dick, daß die Mehrzahl der Zellen unverletzt geblieben war. In beiden Fällen geht ihnen jede Beweiskraft ab.

c) Eigene Untersuchungen.

Da es mir nicht möglich war, Schnitte von der erforderlichen Dicke anders als mit dem Mikrotom herzustellen, verwandte ich zu meinen Versuchen Mikrotomschnitte. Es ist klar, daß ich hierbei darauf sehen mußte, die Wirkung der beim Einbetten angewandten Fixierungs-

und Härtungsflüssigkeiten wieder aufzuheben. Zu diesem Zwecke legte ich die Schnitte unmittelbar nach dem Schneiden in ein mit Xylol gefülltes Zylindergläschen, um das Paraffin aufzulösen. Es erwies sich als notwendig, das Xylol mindestens 24 Stunden einwirken zu lassen und es während dieser Zeit gelegentlich zu erneuern. Das Xylol ersetzte ich dann durch absoluten Alkohol, und auch dieser mußte zur völligen Verdrängung des Xylols längere Zeit, am besten einige Tage einwirken. Dagegen erwies es sich nicht als notwendig, den absoluten Alkohol sukzessive durch solchen von abnehmender Konzentration zu ersetzen, da die Schnitte, auch wenn sie aus absolutem Alkohol in Wasser gebracht wurden, ihre Beweglichkeit sofort zurückerhielten und die Klappen ausnahmslos momentan zusammenschlugen.

Durch dieses Verfahren erhielt ich Schnitte von der erforderlichen Feinheit, deren Zellteile ihre früheren Eigenschaften in bezug auf das Verhalten bei Wasserverlust vollständig zurückerlangt hatten. Bei Kontrollversuchen verhielten sich nämlich ganze, eingebettete und wieder herausgelöste Antheren bei Wasserverlust nicht anders als wie normale Kontrollantheren.

Daß sich derartig dünne Schnitte, ohne durch Alkohol gehärtet zu sein, frei auf einer Nadelspitze austrocknen lassen, ist ganz ausgeschlossen. Aus diesem Grunde bietet eine einwandfreie Ausführung der in Frage stehenden Versuche erhebliche Schwierigkeiten und gelingt erst mit einiger Übung, und auch dann nicht immer. Am geeignetsten fand ich folgende Methode. Ich ließ einen Schnitt in einem Wassertropfen auf dem Objektträger schwimmen und schob dann einen Deckglassplitter derart unter denselben, daß die Klappen des einen Faches mit dem angrenzenden Teil des Konnektivs auf den Splitter zu liegen kamen, während die andern Teile des Schnittes über die Unterlage herausragten. Mit Filtrierpapier entfernte ich dann das Wasser bis auf einen kleinen Rest und ließ diesen darauf verdunsten, indem ich gleichzeitig das Präparat unter dem Mikroskop beobachtete und die freien Teile, sobald sie sich auf den Objektträger legen wollten, durch vorsichtiges Unterlegen der Nadelspitze daran hinderte. Die Nadel mußte vollkommen trocken sein, weil die Klappenarme sonst an der Nadel klebten. Daß hierbei alle Zellen angeschnitten waren, habe ich jeweilen vorher durch Beobachtung im Mikroskop konstatiert.

Auf diese Weise konnte ich eine Öffnungsbewegung der Schnitte beobachten, aber nur, wenn sich parallel der Schnittfläche Membranen in größerer Anzahl noch vorfanden. Waren diesen Membranen zum größten Teil weggeschnitten, so zeigte der Schnitt nur geringe oder gar keine Bewegung; anderseits öffneten sich Schnitte, denen keine solche Membranen fehlten, durchaus normal. Dieses Verhalten ist ohne weiteres verständlich, wenn man Hygroskopizität als Öffnungsursache annimmt; sind nämlich die Membranen parallel zur Schnittfläche, welche auch die Beobachtungsfläche ist, weggeschnitten, so wirkt die hygroskopische Verkürzung nur senkrecht hierzu und diese Wirkung muß sich demnach der Wahrnehmung entziehen. —

Übrigens ergab sich bei den im 1. Kapitel beschriebenen Versuchen mit isolierten Zellen, daß verletzte Zellen und Zellreste sich nicht weniger kontrahieren als unverletzte Zellen, und es ist nicht einzusehen, weshalb sich dies im Zellverbande anders verhalten sollte.

d) Zusammenfassung.

1. Querschnitte, bei denen sicher alle Faserzellen angeschnitten sein sollen, dürfen bei Antheren mit großen Faserzellen höchstens 20 μ dick sein; sie sind wohl kaum anders, als mit Hilfe des Mikrotoms zu erhalten.

2. Der Umstand, daß dünne Querschnitte mit nur angeschnittenen Zellen beim Austrocknen sich nicht öffnen, beweist nicht ohne weiteres das Vorliegen eines Kohäsionsmechanismus; denn mit der Entfernung eines Teils der Zellwände ist auch ein Teil der hygroskopischen Kraft eliminiert.

3. Am extremsten ist dieser letzte Fall verwirklicht, wenn an Querschnitten die Membranen parallel zur Schnittfläche größtenteils weggeschnitten sind; solche Querschnitte bewegen sich beim Austrocknen wenig oder gar nicht.

4. Sind in einem Querschnitt, der nur angeschnittene Zellen enthält, Membranen parallel zur Schnittrichtung in genügender Anzahl vorhanden, so erfolgt beim Austrocknen eine Öffnungsbewegung, welche umso energischer ist, je mehr derartige Membranen im Schnitt noch vorhanden sind.

5. Kapitel. Ausschaltung der Kohäsion durch Unterbrechung des Schliessprozesses.

Es handelt sich bei diesen Versuchen um trockene, geöffnete Antheren, deren Schließung unterbrochen wurde, bevor die Zellen sich mit flüssigem Wasser füllten; so konnte bei ihrem erneuten Austrocknen die Kohäsion nicht wirksam sein. Es läßt sich dies wenigstens annähernd nach 2 Methoden erreichen. Man kann trockene Antheren in Wasser legen, sie aber nur solange darin lassen, bis sie sich eben ausgedehnt und geschlossen haben, worauf sie herausgenommen werden. Es ist zweckmäßig, das außen anhaftende Wasser sofort mit Filtrierpapier zu entfernen, damit es nicht nachträglich in die Lumina eindringen kann. Dieser Vorgang dauert ca. 15 Minuten. — Die andere Methode besteht darin, daß man trockene Antheren im feuchten Raum sich schließen läßt und den Prozeß unterbricht, bevor die Lumina sich mit Flüssigkeit gefüllt haben.

Die erste Methode hat Steinbrinck wiederholt zum Nachweis des Kohäsionsmechanismus angewandt, jedoch nicht bei Antheren,[1]) sondern bei Selaginella-Sporangien (1902, S. 123), Moosblättern (1903, Flora, S. 127), bei Blättern von *Triticum junceum* und *Ammophila arenaria* (1908, S. 406); an der zuletzt genannten Stelle

[1]) Nur 1909, S. 5 und 9, spricht St. von solchen Versuchen mit Antheren; doch hat er diese dann nach der Vakuummethode behandelt. Diese Versuche sollen im folgenden Kapitel zur Sprache kommen.

beschreibt er seine Methode genauer. „Wenn die getrockneten Röllchen (von Dünengräsern) bei Wasseraufnahme ihrer Membranen sich entfaltet haben, so enthalten anfänglich ihre Zellen im Innern neben dem rasch eindringenden Wasser zum Teil noch Gasblasen. Läßt man sie sofort nach dem Entfalten schnell wieder austrocknen, so kann sich die Kohäsionskontraktion nicht in ganz demselben Maße wieder geltend machen, wie vorher. Wiederholt man dieses Verfahren mehrmals hintereinander, so wird die Kohäsionswirkung immer mehr eingeschränkt. Zur Abkürzung bringt man nach mehrmaliger Erneuerung dieser Prozedur die feuchten Gewebe zwischen 2 Blätter Löschkarton und belastet das Ganze mit einem Briefbeschwerer oder bequemer mit einem Fuße des Mikroskopstativs, bis sie trocken sind."

Das im letzten Satze beschriebene Vorgehen halte ich für nicht zweckmäßig; es dürfte hier gerade eine Fehlerquelle liegen, da ja die Objekte durch den Druck in ihren Bewegungen gehindert

Tabelle 24.

	Zahl der untersucht. Antheren	Trockene Länge in mm	In Wasser	Trocken	In Wasser	Trocken	In Wasser	Trocken	In Wasser	Trocken
			15 Min.	16 St.	15 Min.	8 St.	15 Min.	12 St.	15 Min.	24 St.
Tulipa Gesneriana	6	11	16—17	9—10½	15½16½	9 10	15—16	9½—10	15—16	9—10
Lilium candidum	10	9	18 - 20	8—9	17—19	7—8	17—18	7½ - 8½	17—19	7—8
L. Martagon	10	8	13 - 14	7—8	13	7	12—13	7—8	12—13	7½—8
L. bulbiferum	10	7	11—12	6½—7	10—11	6 - 7	11—12	6 - 7	11—12	6½—7
Hemerocallis flava	10	4	6—7	3½—4	6—7	3—3½	6—7	3—3½	6—7	3½
Clivia miniata	10	4½	7	4	7	4	7	4	7	4
Fritillaria meleagris	5	3½—4	7 - 8	4 - 4½	7 - 8	4 - 4½	7—8	4 - 4½	7—8	4 - 4½

werden. Ich ließ darum bei meinen Versuchen, die ich im übrigen nach obiger Angabe Steinbrincks ausführte, die Antheren ganz frei auf Filtrierpapier bei Zimmertemperatur austrocknen. — Außerdem suchte ich nach Möglichkeit den tatsächlichen Luftgehalt der Antheren während dieser Versuche zu kontrollieren. Zu diesem Zwecke untersuchte ich einige Versuchsobjekte unter Öl nach der im 2. Kapitel angegebenen Methode. Außer den Antheren hatte ich noch gleichzeitig Sporangien von *Equisetum* derselben Behandlung unterworfen; sie besitzen eine einschichtige Schraubenzellwand, deren Lumina sich leicht auch ohne Öl auf Luftgehalt prüfen lassen. Es ist anzunehmen, daß die Antheren sich nicht schneller mit Wasser füllen, als die Sporangiumwände, daß also auch jene noch mit Luft gefüllt sind, wenn das bei diesen der Fall ist. — Nach beiden Methoden konstatierte ich, daß bei der Entnahme aus dem Wasser sofort nach der Streckung nur höchstens 10% der Zellen mit Flüssigkeit gefüllt waren und daß der übrige Teil der Klappe noch mit Luft gefüllt war.

Ich experimentierte mit 7 verschiedenen Antheren, und zwar viermal unmittelbar hintereinander, ohne ein wesentlich verschiedenes Resultat zu erhalten. Die Versuche sind in vorstehender Tabelle 24

zusammengefaßt, welche die Länge der Antheren in mm angibt. Die Verkürzung der Antheren war immer mit vollständiger Öffnung verbunden und blieb, wie aus der Tabelle zu ersehen ist, hinter der normalen Verkürzung nicht zurück.

Die zweite angegebene Methode, welche auf Schließung der Objekte in der feuchten Kammer beruht, hat Ursprung (1903) für den *Anemia*-Annulus (S. 639) und für das *Psilotum*-Sporangium (S. 663) benützt. Bei Antheren hat Haberlandt dieses Verfahren angewandt; er schreibt (Anatom. Pflanzenphysiologie 1909, S. 505f) in bezug auf Querschnitte, die sich in der feuchten Kammer auf dem Objektträger geschlossen hatten: „Entfernt man die feuchte Kammer vom Objektträger, so beginnt in der trockenen Luft sehr bald die Auswärtskrümmung, d. i. die Öffnungsbewegung der Klappen. Allerdings schreitet diese Bewegung nicht bis zur vollständigen Auswärtskrümmung bezw. Geradstreckung der Klappen vor. Wie aus der dauernd schwarzen Färbung der Klappenquerschnitte hervorgeht, sind sämtliche Zellen bei der Ein- und Auswärtskrümmung mit Luft gefüllt. An der rein hygroskopischen Natur der partiellen Öffnungsbewegung ist also nicht zu zweifeln."

Wiederholung der Versuche Haberlandts ergab mir dasselbe Resultat; außerdem ließ ich auch ganze Antheren auf einer Nadel aufgesteckt in der feuchten Kammer sich ausdehnen und schließen. Dieser Schließprozeß dauert mindestens 24 Stunden und wird durch Wärme begünstigt. Er ging z. B. schneller vor sich, wenn ich die feuchten Kammern in der Nähe des Ofens aufstellte. Auch hier untersuchte ich den Luftgehalt der Antheren direkt und durch Prüfung von gleich behandelten *Equisetum*-Sporangien; die Luft war nur in höchstens 10% der Zellen durch flüssigen Inhalt ersetzt. Die Versuche wiederholte ich viermal unmittelbar nacheinander; die Resultate sind in der folgenden Tabelle 25 zusammengestellt, wieder durch Angabe der Länge der Antheren in mm; die Verkürzung ist auch hier mit normaler Öffnung verbunden.

Tabelle 25.

	Zahl der untersucht. Antheren	Trocken, Länge in mm	In feuchter Kammer	Trocken	In feuchter Kammer	Trocken	In feuchter Kammer	Trocken	In feuchter Kammer	Trocken
			24 St.	10 St.	24 St.	20 St.	24 St.	10 St.	24 St.	10 St.
Tulipa Gesneriana	14	10	15–16	10–11	15–16	10-10½	15–16	10-10½	15–16	10–11
Lilium candidum	18	9–10	14–15	9–9½	14–15	9 10	14–15	9–10	14–15	9–9½
L. Martagon	7	8	12–13	8–9	12–13	8–8½	12–13	8–9	12–13	8–8½
L. bulbiferum	7	7	11–12	7–8	11–12	7–8	11–12	7–7½	11–12	7–7½

Aus den Tabellen 24 und 25 ergibt sich übereinstimmend, daß die Öffnung und Verkürzung der Antheren auch dann erfolgt, wenn ihre Zellen vorher nicht mit Flüssigkeit gefüllt waren und somit die Kohäsion nicht wirken konnte.

Über die Beweiskraft dieser Versuche sagt Hannig (S. 217) unter Bezugnahme auf die von Haberlandt ausgeführten: „Zweifellos liegen hier hygroskopische Bewegungen vor. Trotzdem können diese in keiner Weise Anlaß zu irgendwelchen Einwänden gegen die Erklärung des Mechanismus der Antherenöffnung in natura geben, denn bei dieser sind die Faserzellen stets mit Wasser gefüllt. Der natürliche Vorgang der Antherenöffnung und die von Haberlandt erwähnten hygroskopischen Erscheinungen sind also zwei Vorgänge, die sich gegenseitig ausschließen und nur zeitlich aufeinander folgen können."

Wie es sich mit der Luftfüllung während des Öffnungsvorgangs verhält, habe ich im 3. Kapitel eingehend erörtert und kann nach den dort erhaltenen Resultaten die Berechtigung obiger Argumentation Hannigs, soweit sie sich auf den Flüssigkeitsgehalt der Antheren stützt, nicht anerkennen.

Anderseits aber ist klar, daß die in diesem Kapitel besprochenen Versuche nur beweisen, daß das Öffnen ohne Kohäsion erfolgen kann, nicht aber, daß die Antheren sich in natura hygroskopisch öffnen.

6. Kapitel. Die „Vakuummethode" Steinbrincks.

a) Bisherige Anwendung und Resultate.

Die Vakuummethode Steinbrincks wurde im Prinzip schon in der Einleitung erklärt; daselbst ist auch die Literatur angegeben. Zur Ergänzung diene das Folgende.

Bei der Auswahl des Versuchsmaterials verwandte Steinbrinck besondere Sorgfalt darauf, vollreife, aber noch nicht geöffnete Antheren zu erhalten; seine Objekte waren (1900, S. 222, Anm. 1): „nur solchen Blüten entnommen, deren Antheren großenteils schon aufgesprungen waren und, der Sicherheit halber, sogar nur solchen Staubfadenkreisen, deren Dreizahl — es handelt sich um *Fritillaria imperialis* — bereits eine oder zwei vollgeöffnete Antheren aufwies." Bis 1909 verwendet Steinbrinck ausschließlich solche Antheren, da er vergleichende Versuche mit alten Antheren nicht für notwendig hält. „Die Natur der Zellmembranen kann doch bloß durch das einmalige erste Austrocknen nicht so geändert werden, daß ihre Schrumpfungsfähigkeit plötzlich auf etwa das Zehnfache steigt. Was wir von dem Schrumpfungsmaß der Membranen in den frischen Antheren gefunden haben, gilt doch auch noch für die Substanz der trockenen" (1909, S. 7). Trotzdem gab der „Versuch mit älteren Antheren, die zuerst mit Wasser durchtränkt und dann in den Alkohol eingetragen sind, nicht dieselben glatten Resultate. Die Deformation dieser Staubbeutel ist vielmehr eine erheblich größere. Dies ist aber zum großen Teil darauf zurückzuführen, daß bei den frischen, geschlossenen Antheren noch der Widerstand vorhanden ist, den das Nahtgewebe gegen das Zerreißen und somit auch gegen das Zustandekommen der Schrumpfelung bildet . . . Diese Hemmung ist zwar nicht groß genug, um die Kohäsionswirkung des Zell-

saftes unter den gewöhnlichen Verhältnissen der Natur zu verhindern, aber immerhin so beträchtlich, daß er bei den beschriebenen Versuchen die Kohäsionsleistung des Alkohols aufhebt" (a. a. O.). — Bessere Resultate hat Steinbrinck mit alten Antheren erhalten, die er nur 3—5 Minuten in Wasser gelassen und dann sofort „an den großen mit der Quecksilberluftpumpe evakuierten Raum angeschlossen" hatte, hierdurch waren „die Membranen zwar hinreichend imbibiert, die Lumina aber noch nicht ganz mit Wasser wieder erfüllt". Im Vakuum trockneten die Antheren rasch aus, „ohne die natürliche Trockenform wieder anzunehmen. Sie bewahrten vielmehr . . . die ursprüngliche Gestalt und annähernd dieselbe Länge. Ihre Fächer blieben also geschlossen, soweit sie es vorher im feuchten Zustande waren. Von einer Auswärtskrümmung ihrer Klappen war nichts wahrzunehmen" (S. 9). —

In seinen Mitteilungen läßt Steinbrinck genaue Zeitangaben über die Dauer seiner Versuche vermissen. Er spricht nur von einer „reißend schnellen" (1899, S. 105), „rapiden" (1900, S. 222) Verdunstung des Alkohols, ohne die Zeit in Minuten oder Sekunden anzugeben. — 1909, S. 6, bemerkt Steinbrinck bezüglich der Dauer seiner Versuche: „Der Sicherheit halber habe ich meine meisten Versuchsobjekte einen ganzen Tag lang in Verbindung mit der Quecksilberluftpumpe belassen." Die Versuche scheinen demnach ziemlich lang gedauert zu haben, und es ist der Aufschluß nicht überflüssig, woraus Steinbrinck die Tatsache der „rapiden" Alkoholverdunstung ableitet. Versteht er darunter das „kreideweiße" Aussehen der Antheren, so kann ich aus meinen später zu besprechenden Versuchen die Beobachtung hier anführen, daß dieses kreideweiße Aussehen, welches bei den Versuchen sehr auffällig ist und das Entweichen der Flüssigkeit aus dem Innern mit Sicherheit erkennen läßt, durchaus nicht momentan, sondern nur nach und nach auftritt und zwar erst etwa 10—15 Minuten, nachdem die Antheren dem Vakuum ausgesetzt wurden. Die „Rapidität" der Alkoholverdunstung aus dem Zellinnern dürfte demnach bei den Versuchen Steinbrincks cum grano salis zu nehmen sein. —

Die Beweiskraft dieser Versuche hält Steinbrinck für absolut, und es ist befremdend, daß von keinem der Gegner Steinbrincks diese Methode angegriffen oder auch nur erwähnt wurde; anderseits wird sie aber auch von Hannig völlig übergangen. — Besonders energisch betont Steinbrinck die Beweiskraft seiner Versuche gegenüber Schneider (1909, S. 2): „ . . ich behaupte, daß das Resultat dieses einzigen Versuches seine Schlüsse über den Haufen geworfen haben . . . würde." — (S. 5): „Ich fordere meinen Herrn Opponenten auf, endlich einmal auf diese Argumentation zu antworten." — Hierauf berichtet Schneider (S. 201), daß er zur Zeit mit der Nachprüfung der Vakuumversuche beschäftigt sei; bis jetzt ist aber eine Veröffentlichung seiner Resultate noch nicht zu meiner Kenntnis gelangt. Er sagt a. a. O. nur, sie seien interessant und haben ihren Wert für sich; „sie bilden dagegen keine Widerlegung der Ergebnisse der kohäsiven

und hygroskopischen Schrumpfung, . . . deren Verlauf (an Querschnitten und isolierten Zellen) mit dem Mikroskop irrtumsfrei festgestellt werden kann."

Nach dem Vorgange Steinbrincks verwandte Schmidt (1911, S. 485) die Vakuummethode bei seinen Untersuchungen über den Einrollungsmechanismus einiger Farnblätter, den er bereits im vorhergehenden als Kohäsionsmechanismus festgestellt hatte. Der Erfolg war „so ungleichmäßig, daß eine Schlußfolgerung aus den Beobachtungen nicht gezogen werden kann. In allen Fällen trat eine deutliche Einrollung ein. Die Ursache wird vermutlich darin liegen, daß in den immerhin mehrere Zellagen starken Geweben sich eine Kohäsionswirkung wohl entfalten konnte, da der Alkohol nicht so plötzlich daraus entwich."

b) Bemerkungen zu dieser Methode.

Im folgenden handelt es sich um eine Prüfung der Beweiskraft der von Steinbrinck beobachteten Tatsachen für die Kohäsionstheorie. Zu diesem Zwecke sind folgende 2 Vorfragen zu untersuchen:

1. Ist die Schrumpfungsfähigkeit der Membran bei den Versuchen tatsächlich nicht beeinträchtigt worden? Bei dieser Frage sind besonders die etwaigen Veränderungen der Membran durch die Alkoholbehandlung in Betracht zu ziehen.

2. Wird durch schnelles Verdunsten einer Flüssigkeit ihre Kohäsionswirkung aufgehoben? Deshalb, weil eine Kraft nur kurze Zeit wirken kann, ist doch ein Effekt derselben nicht a priori ausgeschlossen.

Ad 1. Steinbrinck hat diese Frage wiederholt untersucht und ist dabei im Gegensatz zu Pfeffer (Pflanzenphysiologie, I. Bd., 1897, S. 61) durch Versuche mit isolierten Lamellen eines Laubmoosperistoms zum Ergebnis gelangt (1900, S. 223), daß „eine Beeinträchtigung der Quellungsfähigkeit der Membranen durch Alkohol" nicht vorliegt. Für Antheren erhielt Steinbrinck (1909, S. 5) dasselbe Resultat.

Auch mir scheint diese Möglichkeit nicht nahe zu liegen. Bei meinen im folgenden Kapitel zu besprechenden Versuchen über das Verhalten isolierter Faserzellen in Alkohol kontrahierten sich die Zellen nach der Alkoholbehandlung immer normal. Doch dauerte hierbei die Einwirkung des Alkohols nur wenige Minuten und es geben deshalb die Versuche keinen sicheren Aufschluß über eine eventuelle Veränderung der Hygroskopizität von Membranen bei längerem (hier mindestens 24stündigem) Einwirken von Alkohol. Es wird deshalb auf diese Frage bei den folgenden Versuchen Rücksicht genommen werden müssen.

Ad 2. Hierüber liegen keine Experimente von Seite Steinbrincks vor.

Zunächst muß auffallen, daß Steinbrinck bei seinen Vakuumversuchen mit alten Antheren nicht „so glatte" Resultate erhielt, wie mit frischen, die sich vorher noch nie geöffnet hatten; er sieht den Widerstand der Naht gegen das Zerreißen als Ursache dieses Verhaltens an. Nun ist jedenfalls dieser Widerstand bei

vollreifen Antheren nicht sehr groß; der geringste mechanische Eingriff bringt vielmehr, wie Hannig (S. 186) bemerkt, die Naht zum Aufreißen. 1909, S. 4, berichtet Steinbrinck von frischen *Tulipa*-Antheren, die sich im Vakuum nicht verkürzt hatten: „Nur an der Naht entstand bei ihnen ein schmaler Riß." Hierdurch dürfte doch der Widerstand der Naht außer Frage gefallen sein.

Auffällig ist ferner, daß Steinbrinck selbst Versuche anführt, bei denen der flüssige Inhalt der Faserzellen noch schneller verdunstete, als dies bei den Vakuumversuchen möglich ist, und wo trotzdem Öffnung und Verkürzung der Antheren eintrat. Er schreibt 1900 (S. 394): Wassergesättigte *Fritillaria*-Antheren kontrahierten sich „in nicht geringerem Maße wie bei gewöhnlicher Temperatur, als ich von 60°, 70°, 90° im Wasserbade zu 180°, 200°, 230°, 255° im Luftbade aufstieg", ebenso in einer direkt über der Gasflamme erhitzten Silberschale und auf rotglühendem Platinblech. „Allerdings erhielt ich trockene Antheren von der doppelten Länge der natürlichen, als ich sie wassergesättigt auf einen Objektträger legte, der durch eine Spiritusflamme erhitzt war, und die scharfe Erhitzung fortsetzte."

Auf diesen letzten Fall ist ein Eingehen deshalb unmöglich, weil er zu wenig genau beschrieben ist; es fehlen vor allem Angaben, ob das Ankleben am Objektträger verhindert wurde und ob die doppelte Länge sich dauernd erhielt. Die erst genannten Beobachtungen sprechen aber, freilich nur vom Standpunkt Steinbrincks aus, gegen die Annahme, daß Kohäsion bei schnellem Verdunsten nicht wirken könne. Denn auf rotglühendem Platinblech dürfte Wasser doch mit bedeutender Schnelligkeit verdunsten und trotzdem sind die Antheren „geschrumpfelt" (Stbk., a. a. O.). Steinbrinck ist diese Schwierigkeit nicht entgangen, er sagt (a. a. O.): „Offenbar spielt bei diesen Ergebnissen nicht bloß der hemmende Zug der Membranen, sondern weit mehr noch das geringe Wärmeleitungsvermögen der Flüssigkeiten eine Rolle. Infolgedessen gelangten diese kaum oder nicht entfernt auf die Temperatur des umgebenden Raumes. Eine allzu plötzliche Dampfbildung, welche die Continuität des Systems hätte aufheben können, wurde daher vermieden. In andern Fällen scheint aber durch erhöhte Temperatur oder sonstige Umstände momentan eine so reichliche Dampfbildung hervorgerufen zu werden, daß die Schrumpfung gänzlich unterbleibt oder doch stark herabgesetzt wird."

Diesem Erklärungsversuch zufolge war also in der Silberschale und auf dem rotglühenden Platinblech die Dampfbildung nicht so plötzlich, wie auf dem über einer Spiritusflamme erhitzten Objektträger, da ja die Antheren auf diesem „schrumpfelten", auf jenen aber nicht; der Grund für dieses Verhalten sind „erhöhte Temperatur oder sonstige Umstände". Was Steinbrinck unter „sonstigen Umständen" versteht, weiß ich nicht, möglicherweise das von ihm vorher erwähnte „geringe Wärmeleitungsvermögen der Flüssigkeiten". Hierdurch kann aber das abweichende Verhalten in beiden Fällen nicht verursacht sein, weil die verwandte Flüssigkeit immer dieselbe war. Anderseits spielt erhöhte Tempe-

ratur hier keine Rolle; denn dann müßte ja die Temperatur des über Spiritus erhitzten Glases höher sein, als die des rotglühenden Platinblechs.

Ich habe ebenfalls Versuche angestellt, bei denen ich heiße Luft zum Entwässern verwandte. Ich experimentierte mit Antheren von *Lilium candidum,* die seit ca. $^3/_4$ Jahren trocken und sämtlich 9 mm lang waren, und legte sie mindestens 24 Stunden ins Wasser; sie waren nachher $20^1/_2 - 23$ mm lang. Hierauf setzte ich sie im Heißluftschrank einer Temperatur von 170—180° aus; in nicht ganz 2 Minuten hatten sie sich geöffnet und auf ihre ursprüngliche Länge verkürzt. Andere ebenso mit Wasser behandelte Antheren legte ich 5 Stunden in Alkohol; ihre Länge war nachher 19 mm; in heißer Luft (175°) brauchten sie zur totalen Öffnung und Verkürzung nur 30 Sekunden, also noch weniger als die mit Wasser behandelten Antheren. Nach Steinbrinck wäre in diesem Falle die Dampfbildung nicht „momentan" gewesen, da ja die Öffnung und Verkürzung nicht unterblieb. Ich glaube nun aber doch dem Worte „momentan" keine Gewalt anzutun, wenn ich die Dampfbildung in dem 30 Sekunden-Experiment als momentan bezeichne; denn sie hat hier sicher nicht einmal 10 Sekunden in Anspruch genommen. Ich beobachtete nämlich die Antheren von 10 zu 10 Sekunden, indem ich die Türe des Heißluftschrankes öffnete, und sah, daß die Antheren zwischen dem 1. und 2. Öffnen nicht nur ganz weiß geworden waren, sondern sich bereits beträchtlich verkürzt hatten.

Damit fällt die Berechtigung der Schlüsse, welche Steinbrinck aus dem Ausfall seiner Vakuumversuche zieht, dahin; denn gerade wenn man mit Steinbrinck die Kohäsion als Öffnungsursache ansieht, muß man nach den Heißluftversuchen annehmen, daß die Kohäsion auch bei rapidem Verdunsten des Füllwassers wirksam ist. Die Beobachtungen Steinbrincks sind aber nichtsdestoweniger frappierend und da ich die Erklärung, welche Steinbrinck für sie gibt, aus den angeführten Gründen ablehnen muß, sind diese Versuche erst recht erklärungsbedürftig geworden.

c) Eigene Untersuchungen.

Zunächst wiederholte ich die Versuche Steinbrincks, um aus eigener Anschauung die Resultate kennen zu lernen. Bei der Ausführung hielt ich mich genau an die hier folgenden Angaben Steinbrincks (1906, S. 6): „Als Behälter für den auszutrocknenden Staubbeutel kann eine gewöhnliche Glasröhre dienen, die an einem Ende durch Druckschlauch mit der evakuierten Quecksilberluftpumpe verbunden und am andern zugeschmolzen ist. Steht eine solche Pumpe nicht zur Verfügung, so kann man auch wohl mit einer Wasserluftpumpe auskommen. Es ist wichtig, daß der Alkohol möglichst entwässert ist. Ich habe jedoch nicht nötig gehabt, ihm das Wasser durch Natrium zu entziehen. Es genügte der Zusatz einer reichen Menge frisch entwässerten Kupfervitriols. Die Antheren verweilten darin vor dem Versuche etwa 24 Stunden, und zwar in einem beträchtlichen Alkoholquantum."

Mit Hilfe der von mir gebrauchten Wasserluftpumpe konnte ich eine ständige Luftverdünnung auf 20 mm Hg, manchmal noch auf einen etwas geringeren Druck erzielen; der Rezipient faßte ca. 6 l. Die Glasröhren, die zur Aufnahme der Antheren dienten, waren etwa 5 cm lang und hatten ca. 4 mm lichte Weite. Während des Versuches beobachtete und maß ich die Antheren in bestimmten Zeitabständen (von 5 zu 5 bezw. von 10 zu 10 Minuten), ohne sie aus dem Röhrchen herauszunehmen oder ihre Verbindung mit dem Rezipienten zu unterbrechen.

Von den Angaben Steinbrincks bin ich nur in bezug auf die Dauer der Versuche abgewichen, da ich aus den eben angegebenen Gründen tagelang dauernde Versuche für nicht beweiskräftig halte. Ich habe aber nie einen Versuch abgebrochen, wenn nicht mindestens eine Viertelstunde seit dem Zeitpunkt verstrichen war, wo die Verdunstung des flüssigen Zellinhaltes infolge des kreideweißen Aussehens der Antheren unzweifelhaft feststand. Ich ließ dann die Objekte noch stundenlang in Zimmertemperatur nachtrocknen; eine weitere Verkürzung trat nur in wenigen Fällen ein, war nie bedeutend (mit Ausnahme von speziell zu besprechenden Fällen) und sicher rein hygroskopisch, weil ja die Lumina keine Flüssigkeit mehr enthielten.

Bei meinen ersten Versuchen mußte ich aus Mangel an frischem Material alte Antheren verwenden, die ich seit etwa 9 Monaten trocken aufbewahrt hatte. Das Ergebnis dieser Versuche zeigt folgende Tabelle, in welcher die jeweilige Länge der betr. Antheren in mm angegeben ist. Schon in den ersten 5—10 Minuten hatten sich die Antheren vollständig geöffnet.

Tabelle 26.

	Zahl der untersucht. Antheren	Trocken	In Wasser	In Alk. abs.	Im Vakuum (15—20 mm Hg)				
		9 Mon.	3 St.	24—48 St.	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	25 Min.
Tulipa Gesneriana	5	$9^1/_2$—10	17	15	14—15	11^1_2—13^1_2	10—$11^1/_2$	9—10	—
idem	8	11	17—18	16—18	$15^1/_2$—18	13—$15^1/_2$	12—$13^1/_2$	11—12	—
Iris germanica	10	12	$15^1/_2$	14—15	14—15	13—14	$12^1/_2$—13	12—$12^1/_2$	—
Hemerocallis flava	10	4	$6^1/_2$	$6^1/_2$	$4^1/_2$—5	4	—	—	—
Lilium Martagon	10	7	$13^1/_2$-14	$11^1/_2$-13	11—12	9—$10^1/_2$	$7^1/_2$—8	7—$7^1/_2$	—
Lilium candidum	10	9	17—19	16-$18^1/_2$	15—$18^1/_2$	13—16	$9^1/_2$—13	8—$10^1/_2$	8—$9^1/_2$
Datura stramonium	6	13	$15^1/_2$	15-$15^1/_2$	14—15	$13^1/_2$—14	13—14	13—$13^1/_2$	—

Diese Zahlen sind selbst dann auffallend, wenn man nach dem Berichte Steinbrincks (1909, S. 6) bei alten Antheren nicht so glatte Resultate erwartet, wie bei frischen. In allen Fällen schlugen die Klappen normal zurück und nur bei 14 von den untersuchten 59 Antheren blieb die Verkürzung um höchstens 1 mm hinter der ursprünglichen Trockenlänge zurück: bei *Lilium candidum* verkürzten sich einige Antheren in Vakuum sogar noch stärker als in den vorausgegangenen 9 Monaten. Dies alles in

einer Zeit von höchstens 25 Minuten. Sehr zu betonen ist hierbei der Umstand, daß die Antheren im Vakuum nie eine meßbare Verkürzung aufwiesen, bevor sie kreideweiß geworden waren; die Öffnungsbewegung begann etwas früher. Die Kohäsion wurde also hier bereits vor dem völligen Zurückgehen der Klappen ausgeschaltet und war bei der nachfolgenden Verkürzung gänzlich unbeteiligt.

Anderseits ergaben Versuche mit frischen Antheren genau das von Steinbrinck beschriebene Resultat. Die Versuchsdauer war 50 Minuten, also mindestens doppelt so lang wie bei den Versuchen mit alten Antheren, und doch trat keine Öffnung ein und war eine Verkürzung entweder gar nicht zu konstatieren oder betrug dann höchstens 1 mm. Die Zahlen finden sich in der folgenden

Tabelle 27.

	Zahl der untersucht. Antheren	In der Blüte Länge in mm	In Alk. absol. 1—10 Tage	Im Vakuum (15—20 mm Hg) 10 Min.	20 Min.	30 Min.	40 Min.	50 Min.	Trocken 24 St.
1. *Tulipa Gesneriana*	6	16½-17½	16—17	16-17	16-17	16—17	16—17	16—17	16-17
2. *Crocus vernus*	10	14—15	14-15	14-15	14-15	14-15	14—15	14-15	14-15
3. *Clivia miniata*	10	6½—7½	6½—7½	6½—7½	6½—7½	6½—7½	6-7	6—7	6-7
4. *Camp. persicifol.*	10	9—11	9—11	9—11	9-11	9—11	9—11	9-11	9—11
5. *Iris germanica*	10	16	15—16	15—16	15—16	15-16	15—16	15—16	15—16
6. *Iris pseudacorus*	10	11—12	11—12	11-12	11—12	11—12	11-12	11—12	11—12
7. *Hemeroc. flava*	10	7—8	7—8	7-8	7-8	7—8	7-8	7—8	7—8
8. *Lilium Martagon*	10	12	12	12	11½—12	11½—12	11½—12	11½—12	11½-12
9. *Lil. bulbiferum*	10	11—12	11—12	11—12	11—12	11-12	11—12	11-12	11—12
10. *Lilium candidum*	10	22—23	22—23	22 23	21—23	21—22	21—22	21—22	21-22

Der Unterschied des Verhaltens frischer und alter Antheren, wie es sich aus den beiden Tabellen ergibt, ist sehr auffallend. Auf den Widerstand der Naht bei frischen Antheren kann er nicht zurückgeführt werden; denn bei manchen frischen Antheren war im Gegensatz zu andern die Naht bei Beginn der Versuche bereits geöffnet, und doch zeigten sie so wenig wie die andern eine nennenswerte Verkürzung. Außerdem riß gelegentlich, wie dies auch Steinbrinck angibt, die Naht während des Versuches, ohne daß sich deshalb das Resultat geändert hätte. Die Erklärung Steinbrincks auf Grund der Kohäsionstheorie wurde bereits ausgeschlossen; ebenso kommt die Lebenstätigkeit außer Frage, weil ja die frischen Antheren durch den Alkohol getötet wurden.

Als wesentlicher Unterschied zwischen frischen und alten Antheren kommt für die Erklärung ihres verschiedenen Verhaltens der Umstand in Betracht, daß die frischen Antheren prall mit Pollen gefüllt waren, die alten aber keinen Pollen mehr enthielten. Eine Bestätigung der Annahme, daß die Pollenfüllung am Ausfall der Vakuumversuche mit beteiligt sei, erhielt ich zufällig bei Ausführung derselben mit Antheren von *Clivia*. Nach Beendigung

der Versuche legte ich die Antheren, wie gewohnt, auf ein Blatt Filtrierpapier zum Nachtrocknen. Als ich nach einiger Zeit wieder nachsah, waren sie, gegen alle bisherige Erfahrung, stark verkürzt. Ich fand dann einen Teil des Pollens neben den Antheren auf dem Papier und einen anderen in den entsprechenden Versuchsröhrchen; ich mußte ihn beim Herausnehmen der Antheren herausgeschüttelt haben. Ich konnte nun denselben Effekt dadurch hervorrufen, daß ich bei folgenden Versuchen mit Antheren von *Clivia* und anderen, sofern sich bei ihnen im Vakuum die Naht geöffnet hatte, den Pollen aus den Antherenfächern herausblies; sie zeigten beim Nachtrocknen, im Gegensatz zu den übrigen Antheren, die den Pollen noch enthielten, normale Öffnung und Verkürzung, wenn die Austrocknung nicht im Vakuum zu weit vorgeschritten war. Immer war dann diese nachträgliche Verkürzung der Antheren rein hygroskopisch, da dieselben ganz weiß geworden waren.

Um diese Verhältnisse systematisch zu prüfen, wiederholte ich alle Vakuumversuche unmittelbar mit denselben Antheren, jedoch ohne Pollen. Wo die Naht der Antheren sich beim ersten Vakuumversuch geöffnet hatte, entfernte ich den Pollen durch Ausblasen; sonst legte ich die Antheren in Wasser, wo die durch den Versuch steif gewordenen Klappen ihre Beweglichkeit zurückerhielten. Durch energisches Schütteln des Wassers mit den darin befindlichen Antheren konnte ich dann immer das Reißen der Naht und die Entleerung des Pollens bewirken. Hierauf wiederholte ich die Versuche genau wie das erste Mal, und jetzt öffneten und verkürzten sich die Antheren normal, wie dies auch bei den 9 Monate alten Antheren der Tabelle 26 der Fall gewesen war.

Die betreffenden Zahlen sind in der Tabelle 28 angegeben. Am auffallendsten war das Resultat bei *Campanula persicifolia;* bei der Wiederholung des Vakuumversuchs nach der Pollenentleerung waren die Antheren schon nach 5 Minuten vollständig geöffnet und unförmlich tordiert, gerade wie dies bei der Öffnung in der Natur der Fall ist. In diesem Zustand konnte ich die Antheren nicht mehr messen, und deshalb fehlen in der Tabelle 28 bezügliche Angaben für *Campanula persicifolia.*

Tabelle 28.

	In Wasser	In Alk. absol.	Im Vakuum (15—20 mm Hg)							
	5—24 St.	24—48 St.	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	25 Min.	30 Min.	40 Min.	50 Min.
1. *Tul. Gesner.*	16—17	15½—16	—	14—15	—	12—13½	—	12—13	12—12½	12—12½
2. *Croc. vern.*	14—15	14—15	14—15	13—14½	12—14	12—13½	12—13	12—13	—	—
3. *Clivia min.*	6½—7½	6½—7½	6½—7½	5½—7	5—6½	4—6	4—5	4—5	—	—
4. *Camp. persic.*	9—11	9—11	schon nach 5 Minuten geöffnet und tordiert							
5. *Iris germ.*	15—16	15—16	—	13—14½	—	13—13½	—	13—13½	—	—
6. *Iris pseudac.*	11—12	11—12	—	9½—10½	—	9½—10	—	9½—10	—	—
7. *Hemeroc. fl.*	7—8	7—8	—	5½—6	—	4½—5	—	4—5	—	—
8. *Lil. Martag.*	11½—12	11—12	—	10—11	—	8—10	—	7½—8	7—8	7—8
9. *Lil. bulbif.*	11—12	11—11½	—	7—8½	—	6½—8	—	6½—7½	—	—
10. *Lil. cand.*	21—22	20—22	—	19—20	—	14—16	—	12—14	10—12	10—12

Nach Ausweis der Tabelle blieb die Verkürzung nicht hinter der normalen zurück; nur die *Tulipa*-Antheren verkürzten sich, auch nachdem sie keinen Pollen mehr enthielten, nicht so stark, wie zu erwarten gewesen wäre. Es mußte also hier noch ein anderer Umstand mitwirken außer der Pollenfüllung, vielleicht eine Beeinflussung der Hygroskopizität der Membran durch die Alkoholbehandlung. Die Nachprüfung bestätigte diese Annahme. Ich legte nämlich die Antheren in Wasser, behandelte sie wieder mit Alkohol abs., aber nur etwa 5 Stunden, und wiederholte den Vakuumversuch. Jetzt verkürzten sich die Antheren in 30 Minuten bis auf 10 mm. Im Wasser hatten jedenfalls die Membranen ihre volle Hygroskopizität zurückerlangt und sie während der verkürzten Alkoholbehandlung beibehalten. Überhaupt braucht die Alkoholbehandlung nicht 24 Stunden zu dauern; schon eine solche von nur einer Stunde genügt, um das besprochene schnelle Austrocknen im Vakuum hervorzurufen.

Frische Antheren, die sich noch nie verkürzt hatten, scheinen gegen Alkoholbehandlung empfindlicher zu sein als solche, die längere Zeit trocken gelegen hatten. Diese zeigten nach beliebig langer Alkoholbehandlung im Vakuum unverminderte Verkürzung, während z. B. Antheren von *Lil. candidum* ohne Pollen, aber noch nie verkürzt, nach 48stündiger Einwirkung des absoluten Alkohols im Vakuum sich gar nicht verkürzten. Auch hier konnte ich leicht mit Wasser die Wirkung des Alkohols aufheben, worauf sich dann die Antheren im Vakuum normal öffneten und kontrahierten.

Es erübrigt noch, auf die Versuche Steinbrinks mit alten Antheren zurückzukommen. Jene, die „nicht so glatte" Resultate geliefert hatten, finden ihre Erklärung in dem, was ich oben über den Einfluß der Pollenfüllung gesagt habe. Anders ist es mit jenen, die nach kurzer Behandlung mit Wasser (3—5 Minuten) im Vakuum ohne jede Öffnung und Verkürzung austrockneten (1909, S. 6). Diese Versuche fallen zum Teil mit jenen zusammen, bei denen die Kohäsion durch vorzeitige Unterbrechung des Schließprozesses ausgeschaltet wird; im vorhergehenden Kapitel wurde gezeigt, daß sich dann die Antheren beim Austrocknen in Luft normal verkürzen. Es ist nicht anzunehmen, daß sie sich beim Austrocknen im Vakuum anders verhalten sollten, und bei meinen in dieser Hinsicht unternommenen Versuchen mit alten Antheren verkürzten sie sich auch im Vakuum durchaus normal; nur dauerte hier die Austrocknung immer mehrere Stunden, weil ja Wasser weniger schnell verdunstet als Alkohol. Ungeöffnet blieben die Antheren nur, wenn sich die Klappen im geschlossenen Zustand mit ihren Innenseiten gegenseitig verklebt hatten und sich deshalb nicht zurückschlagen konnten. In solchen Fällen nahm ich die Antheren schnell heraus, löste die verklebten Klappen mit der Nadel sorgfältig voneinander und konstatierte dann im Vakuum normale Öffnung und Verkürzung, vorausgesetzt, daß die Antheren vorher nicht zu stark ausgetrocknet waren.

d) Zusammenfassung.

1. Die Resultate der Vakuummethode beweisen das Vorliegen eines Kohäsionsmechanismus nur, wenn bewiesen ist:

a) daß die Quellungsfähigkeit der Membran durch die Alkoholbehandlung nicht verändert wurde;
b) daß schnelles Verdunsten eine unter normalen Verhältnissen vorhandene Kohäsionswirkung aufhebt.

2. Dieses letzte trifft nicht zu; denn bei der durch Hitze hervorgerufenen schnellen Verdunstung verkürzen sich die Antheren normal. (NB. Diese Beobachtung hat nur Beweiskraft, wenn man Kohäsion als Ursache der Antherenöffnung annimmt; sie zeigt, daß die Deutung, die Steinbrinck seinen Vakuumversuchen gibt, von seinem eigenen Standpunkte aus unhaltbar ist.)

3. Bei den nach Steinbrinck ausgeführten Vakuumversuchen verhalten sich frische und alte Antheren wesentlich verschieden; jene bleiben unverändert, diese öffnen und verkürzen sich normal.

4. Zur Erklärung dieses Verhaltens kommen folgende Faktoren in Betracht:

a) Widerstand der Naht bei frischen Antheren; wird von Steinbrinck als entscheidend angesehen;
b) Füllung mit Pollen;
c) Wirkung des absoluten Alkohols.

5. Der Widerstand der Naht ist nicht die Ursache, weshalb sich frische Antheren im Vakuum nicht verkürzen; denn

a) dieser Widerstand ist bei reifen Antheren nur gering;
b) die Antheren öffnen sich auch dann nicht, wenn
   α) die Naht zu Beginn des Versuches schon geöffnet war oder wenn
   β) die Naht während des Versuches im Vakuum riß.

6. Die Pollenfüllung ist die Hauptursache des beschriebenen ungleichen Verhaltens frischer und alter Antheren; denn auch die frischen Antheren, welche bei einem ersten Vakuumversuch unverkürzt geblieben waren, verkürzten sich bei unmittelbarer Wiederholung des Versuches normal, wenn der Pollen aus ihnen entfernt war.

7. Bei frischen Antheren kann als sekundäre Ursache die Härtung der Membranen durch den Alkohol in Betracht kommen. Diese wird aufgehoben durch Einlegen in Wasser und Abkürzung der Alkoholbehandlung.

7. Kapitel. Methode der Öffnung durch wasserentziehende Flüssigkeiten.

a) Bisherige Anwendung und Resultate.

Die Methode wurde von Hannig (1910) angewendet, um den Kohäsionsmechanismus der Antheren zu beweisen. Ich gebe im folgenden einen Auszug aus seinen bezüglichen Darlegungen (S. 189—196).

Zunächst stellte Hannig mit Hilfe des *Polypodiaceen*-Annulus, eines anerkannten Kohäsionsmechanismus, fest, daß sich durch wasserentziehende Flüssigkeiten Kohäsionsvorgänge hervorrufen lassen; es ist dies übrigens seit Prantl (1896) und Schrodt (1897) bekannt. Hiebei zeigte sich das für einen Kohäsionsmechanismus charakteristische, freilich nicht notwendige Merkmal: ruckweise Bewegung beim Auftreten von Luftblasen.

Bei Anwendung dieser von Hannig so genannten „Diffusionsmethode" auf Antheren verläuft der Öffnungsvorgang „nicht so typisch wie bei den Sporangien". Legt man Antherenquerschnitte aus Wasser in Magnesiumchlorid, „so öffnen sie sich im Verlauf weniger Sekunden und schlagen sich ev. nach rückwärts und zwar häufig stärker, als es bei der Öffnung im Freien der Fall ist. Nach einiger Zeit beginnen die Antheren sich wieder langsam einwärts zu krümmen und schließen sich zuletzt vollständig." Alles ohne ruckweise Bewegung und ohne Auftreten von Luftblasen. „Ganze Antheren öffnen sich in den Versuchslösungen nicht; wahrscheinlich weil die Diffusion durch die Kutikula zu sehr gehemmt ist." Der angeführte Grund für dieses auffallende Verhalten ganzer Antheren ist sicher nicht zutreffend; denn es müßte dann auch bei der Transpiration der Wasseraustritt durch die Kutikula gehemmt sein und es könnte dann in der Natur eine Öffnung der Antheren gar nicht stattfinden.

Zur Erklärung seiner Beobachtungen zieht Hannig folgende zwei Möglichkeiten in Betracht: Die Salzlösungen entziehen das Wasser entweder den Membranen (Hygroskopizität) oder dem Zellinnern (Kohäsion). „Eine Ausgleichung der Innen- und Außenlösungen muß schließlich in beiden Fällen eintreten. Das Endresultat wäre also . . . . die Füllung des Zellraumes mit der betreffenden konz. Salzlösung. Daraus folgt, daß die Membranen dann nicht mit Wasser, sondern mit einer hochkonzentrierten Lösung getränkt wären. Es müßten also, da . . . die Membranen sich in dem größtmöglichen Verkürzungszustand befinden, die Antherenquerschnitte . . . . in dem maximalen Öffnungszustand liegen bleiben. Das ist aber gerade nicht der Fall. Vielmehr sieht man, daß die Antherenquerschnitte sich wieder zu schließen beginnen. . . . Die Schließbewegung führt . . . meist nicht zu einem völligem Schließen der Fachquerschnitte. Erst wenn die Querschnitte in Wasser kommen, krümmen sie sich vollständig ein."

Daß die hygroskopische Verkürzung der Membranen nicht bedeutend sei, geht nach Hannig auch daraus hervor, daß sowohl ganze Antheren, als auch einzelne Zellen von solchen in $MgCl_2$ konz., sowie in Alk. abs., „durch den die Membranen völlig entwässert werden", sich nur unbedeutend verkürzen.

Die künstliche Schließung von Antherenquerschnitten in konz. Salzlösungen tritt nach Hannig also ein, trotzdem die Membranen „im maximalen Schrumpfungszustand verharren" und wird dadurch hervorgerufen, daß bei der Herstellung des Diffusionsgleichgewichtes Flüssigkeit in die Zellumina eingetreten ist. Ist dann außen und innen die Konzentration gleich groß, so sind die Membranen „ent-

spannt", da kein wasserentziehendes Moment mehr vorhanden ist, und es können sich die beim Öffnen entstandenen Kohäsionsfalten wieder ausgleichen. —

So Hannig. Gleichzeitig und unabhängig von ihm hat Schmidt (1910) die „Diffusionsmethode" angewendet zum Nachweis von Kohäsionsvorgängen beim Einrollen von Blättern.

b) Bemerkungen zu dieser Methode.

Es handelt sich zunächst darum, ein Urteil über die Beweiskraft dieser Methode zu erhalten. Wichtig ist hier auf alle Fälle der Umstand, daß bei den Versuchen die natürlichen Verhältnisse in hohem Grade verändert sind und daß die Resultate deshalb nicht ohne weiteres auf den Öffnungsvorgang in der Natur angewendet werden dürfen. Dessen ist sich auch Hannig bewußt; denn er unterscheidet diesen künstlichen Öffnungsvorgang von der Öffnung in natura. —

Der Beweisgang Hannigs bei seiner Methode ist wie der Steinbrincks bei seinen Vakuumversuchen ein indirekter; er schließt auf Kohäsion, weil ihm Hygroskopizität dadurch ausgeschlossen scheint, daß sich die Membranen in den konzentrierten Lösungen im größtmöglichen Verkürzungszustand befinden. Da sich die Querschnitte dennoch schließen, so kann diese Bewegung nicht auf Membranquellung, und dementsprechend die vorhergegangene Öffnung nicht auf Membranschrumpfung beruhen.

Es läßt aber Hannig einen Beweis gerade für den Hauptsatz seiner Argumentation vermissen, daß nämlich die Verkürzung der Membranen in wasserentziehenden Lösungen die größtmögliche sei, d. h. ebenso groß, wie die, welche in der Natur durch das Austrocknen bewirkt wird. Hannig hat die Methode am *Polypodiaceen*-Annulus geprüft; diese Prüfung ist aber durchaus ungenügend, denn er bestätigt dadurch nur die altbekannte Tatsache, daß ein typischer Kohäsionsmechanismus in wasserentziehenden Flüssigkeiten sich schließt, nicht aber umgekehrt, daß jeder in diesem Falle sich schließende Mechanismus unter natürlichen Verhältnissen ein Kohäsionsmechanismus sein muß. Dieses letzte ist erst dann bewiesen, wenn gezeigt ist, daß ein typisch hygroskopischer Mechanismus in solchen Lösungen sich zwar öffnet, aber nicht wieder schließen kann.

Ich unternahm deshalb zuerst in dieser Hinsicht eine Nachprüfung der Methode Hannigs an einem zweifellos hygroskopischen Mechanismus und wählte hierzu die Elateren der *Equisetum*-Sporen; diese besitzen gar kein Lumen und deshalb müssen ihre Bewegungen rein hygroskopisch sein. Bei Sporen, die ich aus Wasser in die gesättigte $MgCl_2$-Lösung brachte, schlugen die Elateren zuerst auseinander, bogen dann aber wieder zusammen und legten sich, wie im wasserdurchtränkten Zustand, spiralig um die Spore herum. Kamen die Sporen trocken in die Lösung, so schlugen die Elateren in kurzer Zeit zusammen, wickelten sich um die Spore herum und verharrten, wie im ersten Falle, in dieser Stellung. —

Hiermit ist die Beweiskraft der Methode Hannigs in Frage gestellt; denn hier befinden sich die hygroskopischen Membranen, trotzdem sie von einer konzentrierten Lösung umgeben sind, nicht im größtmöglichen Verkürzungszustand.

Zu ganz ähnlichen Resultaten ist auch Steinbrinck gekommen; er schreibt (1911, S. 561 f.) über das Verhalten von Zellmembranen in starken wässrigen Salzlösungen, speziell in der Lösung von $MgCl_2$, welche Hannig für seine Versuche fast ausschließlich verwendet hat: „Ich habe eingehender nur gesättigte Chlormagnesiumlösung geprüft und gefunden, daß sie auf viele Zellmembranen ungemein stark und entwässernd wirkt. So rief sie bei voll imbibierten Fruchtschnäbeln von *Erodium gruinum*, bei Grannen von *Stipa pennata* und bei Hülsenklappen von *Ervum*, *Genista* und *Lupinus* fast ebenso starke Windungen und Torsionen hervor, wie die volle Austrocknung in der Luft, und dies in weit kürzerer Zeit. Ließ ich die Objekte in der Lösung liegen, so ging in einigen Fällen die Membranschrumpfung allmählich zurück", so bei einer *Lupinus*-Hülse, nicht aber bei der *Stipa*-Granne und bei den Zähnen der *Dianthus*-Kapsel. Aus Beobachtungen an Moosperistomen, die ja nur aus Membranresten bestehen und bei denen ebenfalls die Entwässerungsbewegungen in $MgCl_2$ konz. sofort wieder zurückgehen, zieht Steinbrinck den Schluß, „daß dabei die $MgCl_2$-Lösung wirklich die Membranen selbst entwässert und nicht etwa nur Schrumpfeln hervorruft". Nach Steinbrinck beruht das Zurückgehen der Bewegung darauf, daß „an die Stelle des entzogenen Wassers die Lösung selbst tritt." — „Wenn also auch Hannig und Schmidt Salzlösungen zur Erforschung der Kohäsionsmechanismen mit bestem Erfolge verwendet haben, so darf man wenigstens die $MgCl_2$-Lösung nicht ganz allgemein und bloß für sich allein genommen als zuverlässiges Erkennungsmittel von Kohäsionsmechanismen ansehen". Die Argumentation Hannigs steht erst fest, wenn bewiesen ist, daß speziell bei den Antherenmembranen die Schrumpfung in der Lösung nicht wieder zurückgeht.

Ich habe diese Frage zu prüfen gesucht und werde unten über diese Versuche berichten; vorher möchte ich noch die Ursache erörtern, weshalb manche Membranen in wasserentziehenden Flüssigkeiten nicht den größtmöglichen Verkürzungszustand erreichen bezw. ihn nicht beibehalten, nachdem sie ihn erreicht haben.

Es ist hierbei zunächst die Möglichkeit in Betracht zu ziehen, daß die Lösungen nicht imstande sind, die Membranen vollständig zu entwässern. Es geht dies hervor aus der Größe der Quellungskraft, welche Rodewald (Versuchsstat. 1894, Bd. 45, S. 237) bei trockener Stärke zu 2523 Atm. bestimmte; der mittlere Druck, unter dem das Wasser in der vollkommen gequollenen Stärke steht, beträgt nach Rodewald (Zeitschr. f. physik. Chemie, 1897, Bd. 24, S. 193) 561 kg pro cm^2. Volbehr (1896, S. 36) bestimmte die maximale Arbeitsleistung bei der Quellung der Holzfaser zu 1674 Atmosphären. Pascheles (1897) fand bei Leimplatten durch seine Versuche mit trockener Luft, daß die Verdampfung im annähernd maximalen Quellungszustande analog der

aus einer freien Wasserfläche stattfindet, daß sie aber nachher stets abnimmt. Dieser Umstand legt Pascheles die Annahme nahe, daß das Quellungswasser im gequollenen Körper in zweifacher Form vorhanden sei: zum größeren Teile kapillar, zum geringeren fester gebunden. Dieser zweite Teil diene als Lösungsmittel und könne mit zunehmender Konzentration hygroskopische Eigenschaften gewinnen. — Es ist demnach sehr wahrscheinlich, daß das Quellungswasser auch Salzlösungen gegenüber so fest gebunden ist, daß es nicht vollständig entzogen werden kann.

Der Umstand jedoch, daß hygroskopische Mechanismen, wie Elateren von *Equisetum*-Sporen und Zähne von Moosperistomen, in Salzlösungen aus dem Schrumpfungszustand beinahe vollständig wieder zurückgehen, weist darauf hin, daß hygroskopische Membranen auch in gesättigten Lösungen noch zu quellen vermögen, sei es, indem sie die Lösung imbibieren oder derselben das Lösungsmittel entziehen. Bezügliche Untersuchungen liegen vor schon von Ludwig (Lehrbuch d. Physiol. des Menschen, S. 61; zitiert in Nägeli und Schwendener, Mikroskop, 1877, S. 428) und Reinke (1879, S. 93); letzterer hat konstatiert, daß in konzentrierter Glaubersalzlösung Quellung unter Ausscheidung von Kristallen stattfindet. Einläßlich hat Hofmeister (1888, 1890 u. 1891) diese Verhältnisse untersucht. Unter seinen Resultaten, die er meist mit Leimplatten erhielt, sind folgende hier von Bedeutung:

Die Gewichtszunahme bei der Quellung in Salzlösungen setzt sich zusammen aus Wasser- und aus Salzaufnahme; beide sind, jedoch in verschiedener Weise, von der Konzentration der Lösung abhängig (1891, S. 217). Am Ende ist der Salzgehalt der gequollenen Leimplatten ebenso hoch oder nur wenig niedriger, als der der Außenflüssigkeit (S. 218). Das Resultat ist sowohl bei Verwendung der Alkalisalze einbasischer (S. 216 ff.) oder mehrbasischer (S. 221 ff.) Säuren, als auch indifferenter organischer Substanzen, wie Rohrzucker (S. 223) und Alkohol (S. 234), prinzipiell dasselbe.

An Tierblase hatte schon Liebig (1848, in „Untersuchungen über einige Ursachen der Säftebewegung im tierischen Organismus") festgestellt, daß die Quellung in verdünnten Salzlösungen zu größeren Gewichtssteigerungen führen kann, als die im Wasser. Hofmeister machte bezügliche Versuche und fand, daß die quellungsbegünstigende Wirkung am ausgesprochensten ist bei $MgNO_3$ und $MgCl_2$; und zwar liegt bei beiden das bezügliche Maximum zwischen 20 und 30 %. Setzt man das Gewicht des trockenen Versuchsobjektes = 1, so ist nach Hofmeister das Gewicht der im Wasser gequollenen Blase = 1,56; bei Anwendung von Lösungen erhielt Hofmeister seiner Mittelwertstabelle (S. 234) zufolge folgende Werte für das Gewicht nach der Quellung in:

	10 %	20 %	30 %
Lösung von $MgNO_3$	1,78	2,31	—
Lösung von $MgCl_2$	2,29	2,76	2,49

Diese Resultate dürfen natürlich nicht ohne weiteres auf Antheren und auf die Methode Hannigs angewendet werden. Es

handelt sich ja hier, abgesehen von der Verschiedenheit des Objektes, um Gewichtsveränderungen, während es beim Antherenproblem in erster Linie auf Volumenveränderungen der Membranen ankommt. Ferner waren die Lösungen Hofmeisters im Maximum bei NaCl vierfach normal, sonst 20—30%, bei Alkohol nur 10%, während Hannig konzentrierte Lösungen verwendet hat.

Soviel läßt sich aber aus diesen Versuchen Hofmeisters auch für gesättigte Lösungen entnehmen, daß bei ihnen die Quellung zwar hinter der im Wasser zurückbleiben und daß so im Vergleich zum nassen Zustand eine Verkürzung eintreten kann, daß aber anderseits diese Verkürzung das Schrumpfungsmaximum, wie es im lufttrockenen Zustande gegeben ist, entgegen der Voraussetzung Hannigs nicht notwendigerweise erreichen muß. — Andererseits zeigen obige Werte Hofmeisters, daß speziell die Wahl der $MgCl_2$-Lösung eine unglückliche gewesen sein dürfte, da ja unter allen von Hofmeister untersuchten Salzen gerade $MgCl_2$ sich als am meisten quellungsbegünstigend erwies.[1])

c) Eigene Untersuchungen.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß die Methode Hannigs, so wie sie von ihm angewendet wurde, durchaus ungenügend ist, um einen zwingenden Schluß in irgend einer Richtung zu gestatten. Beweisend im Sinne Hannigs ist diese Methode erst dann, wenn sich durch entsprechende Versuche herausgestellt hat, daß speziell die Faserzellmembranen der Antheren in wasserentziehenden Lösungen den extremen Trockenzustand erreichen und in demselben verharren.

Als Objekt zur Prüfung dieser Frage verwendete ich, wie im 1. Kapitel isolierte Zellen. Der Gedankengang ist folgender: Den Beobachtungen Hannigs zufolge werden sich diese Zellen in den Lösungen zuerst zusammenziehen und dann wieder ausdehnen. Es entsteht nun die Frage: Beruht diese Ausdehnung entsprechend der Kohäsionstheorie auf elastischer Entfaltung der fortwährend maximal geschrumpften Membranen, oder beruht sie auf Quellung derselben? Das erste ist der Fall, wenn

1. bei der Verkürzung Falten auftreten;
2. isolierte defekte Zellen sich in der Lösung weder zusammenziehen noch ausdehnen; denn bei ihnen ist die Kohäsionswirkung ausgeschaltet und die Zellen müssen infolgedessen in der Lösung unverändert bleiben.

Auf Quellung der Membranen ist zu schließen, wenn

1. bei der Verkürzung keine Falten auftreten;
2. verletzte Zellen sich gleich zusammenziehen und wieder ausdehnen wie unverletzte.

Unter diesen Gesichtspunkten unternahm ich die folgenden Versuche, und zwar gleichzeitig mit den im ersten Kapitel beschriebenen und mit denselben Zellen wie dort. So verfügte ich über Zellen, deren maximale Verkürzung ich bereits gemessen hatte und mit dem Verhalten in den Versuchsflüssigkeiten vergleichen

[1]) Betr. neuere Literatur über Versuche bez. Quellung in Salzlösungen vergl. die Nachschrift S. 92.

Tabelle 29.
Konzentrierte Magnesiumchloridlösung.

Objekt	K.-N.	Breite der Zelle				Höhe der Zelle			
		In Wasser	In $MgCl_2$	Verkürzg. in %	Normal. Verkürzung lt. Tb. 1 2c.	In Wasser	In $MgCl_2$	Verkürzg. in %	Normal. Verkürzung lt. Tb. 1 2c.
Lilium cand.	2.	20	18	10,00	25,00	20	20	0,00	5,00
a) Unverletzte	10.	14	13	7,16	25,00	27	27	0,00	3,70
Zellen (vgl.	11.	$9^1/_2$	9	4,25	36,83	25	25	0,00	4,00
Tab. 1)	12.	5	4	20,00	40,00	19	$18^1/_2$	2,62	5,24
	13.	10	$8^1/_2$	15,00	40,00	26	25	3,85	3,85
	15.	21	19	14,28	28,57	22	21	4,54	4,54
	19.	$12^1/_2$	$11^1/_2$	8,00	28,00	21	20	4,76	4,76
b) Verletzte	4.	16	15	6,25	46,87	22	22	0,00	4,54
Zellen (vgl.	8.	$13^1/_2$	13	3,70	25,92	25	25	0,00	0,00
Tab. 2)	9.	10	10	0,00	25,00	25	25	0,00	4,00
	10.	5	4	20,00	40,00	19	$18^1/_2$	2,64	5,24
	12.	9	8	11,11	30,56	23	$22^1/_2$	2,18	4,35
	13.	11	8	27,27	54,54	23	$22^1/_2$	2,18	4,35
	22.	$16^1/_2$	15	6,25	31,82	16	16	0,00	6,25
Lilium Martagon	4.	19	16	15,78	26,32	24	$23^1/_2$	4,08	4,17
a) Unverletzte	5.	10	$9^1/_2$	5,00	40,00	20	20	0,00	5,00
Zellen (vgl.	9.	$15^1/_2$	13	16,13	32,25	20	20	0,00	7,50
Tab. 3)	12.	15	14	4,44	31,67	20	$19^1/_2$	2,50	8,75
	14.	$12^1/_2$	11	12,00	36,00	$20^1/_2$	20	2,44	8,53
	15.	16	14	12,50	35,94	19	$18^1/_2$	2,63	6,47
	19.	10	9	10,00	30,00	27	$26^1/_2$	1,89	6,48
	20.	14	13	7,14	28,57	27	$26^1/_2$	1,89	6,48
	22.	$18^1/_2$	17	8,11	18,70	24	23	4,12	7,29
b) Verletzte	4.	7	$6^1/_2$	7,14	42,86	20	20	0,00	5,00
Zellen (vgl.	7.	$14^1/_2$	12	15,79	38,59	24	23	4,17	8,33
Tab. 4)	9.	5	4	20,00	40,00	20	$19^1/_2$	2,50	8,75
	21.	$14^1/_4$	$12^1/_2$	12,28	35,86	17	$16^1/_2$	2,71	3,82
	24.	$10^1/_2$	8	23,81	47,62	$22^3/_4$	22	3,71	6,59
Tulipa Gesner.	17.	15	14	6,67	20,00	$17^1/_2$	$17^1/_2$	0,00	2,86
a) Unverl. Zellen	22.	$13^3/_4$	12	12,72	30,91	10	10	0,00	5,00
(vgl. Tab. 5)	23.	$12^3/_4$	$11^1/_2$	9,80	32,55	10	10	0,00	5,00
b) Verletzte	8.	15	14	6,67	31,67	17	16	5,88	5,88
Zellen (vgl.	11.	$15^1/_2$	$14^1/_2$	6,45	38,71	$14^1/_2$	$14^1/_2$	0,00	3,45
Tab. 6)	12.	5	$4^1/_2$	10,00	35,00	$14^1/_2$	$14^1/_2$	0,00	3,45
	19.	$16^1/_2$	$14^1/_2$	12,12	37,88	24	24	0,00	3,12
	20.	$11^1/_2$	10	13,04	34,78	23	23	0,00	0,00
	21.	$13^1/_2$	12	11,11	37,04	23	23	0,00	0,00
Passifl. coerulea	3.	7	6	14,29	39,29	10	10	0,00	5,00
b) Verletzte	4.	14	12	14,29	28,57	14	$13^1/_2$	3,79	3,79
Zellen (vgl.	11.	$15^1/_4$	$13^1/_2$	11,47	32,78	21	$20^1/_2$	2,38	4,76
Tab. 8)	13.	$13^1/_2$	$11^1/_2$	14,67	33,33	17	$16^1/_2$	4,94	5,88
	14.	$12^1/_2$	$11^1/_2$	8,00	24,00	12	12	0,00	4,17
	19.	$8^1/_2$	7	17,65	41,18	$19^1/_2$	$19^1/_2$	0,00	2,63
	35.	15	13	13,33	40,00	$11^1/_4$	11	2,78	5,56
	41.	$8^1/_2$	8	5,88	29,41	10	10	0,00	2,50
	42.	$7^1/_2$	7	7,14	33,33	15	15	0,00	3,33

Tabelle 30. Konzentrierte Rohrzuckerlösung.

Objekt	K.-N.	Breite der Zelle				Höhe der Zelle			
		In Wasser	In Rohrz.	Verkürzg. in %	Normale Verkürzg.	In Wasser	In Rohrz.	Verkürzg. in %	Normale Verkürzg.
Lilium Martagon	18.	15½	12	22,58	41,93	20¾	20	3,61	4,82
b) Verletzte Zellen	22.	9½	8	15,55	47,37	23	22	4,34	7,65
(vgl. Tab. 4)	25.	14	12	14,28	33,93	21½	21	2,32	6,97
Tulipa Gesneriana	13.	18	17	5,56	22,22	17	16½	2,82	4,41
b) Verletzte Zellen	14.	21	20	4,76	28,55	11	10½	4,55	9,09
(vgl. Tab. 6)	16.	8	6½	18,75	35,63	21	20½	2,38	4,76
Passiflora coerulea	3.	13¾	13	5,46	23,42	10	10	0,00	5,00
a) Unverletzte Zellen (vgl. Tab .7)	7.	15	13½	10,00	40,00	19½	19	2,56	2,56
	8.	5	4½	10,00	35,00	16½	16	3,03	3,03
b) Verletzte Zellen	7.	17½	16	8,57	22,86	15½	15	3,22	3,22
(vgl. Tab. 8)	12.	9	7½	16,67	44,44	15½	15	3,22	4,84
	22.	9	8	11,11	44,44	16	16	0,00	4,75
	23.	9½	8½	10,52	39,47	16	16	0,00	4,75
	36.	18½	16	13,52	32,43	14	14	0,00	5,28

Tabelle 31. Absoluter Alkohol.

Objekt	K.-N.	Breite der Zelle				Höhe der Zelle			
		In Wasser	Im Alkoh.	Verkürzg. in %	Normale Verkürzg.	In Wasser	Im Alkoh.	Verkürzg. in %	Normale Verkürzg.
Lilium candidum	2.	20	19	5,00	25,00	20	20	0,00	5,00
a) Unverletzte Zellen (vgl. Tab. 1)	4.	20	17½	12,50	50,00	21	21	0,00	4,76
	19.	12½	11¾	6,00	28,00	20	20	4,76	4,76
Lilium Martagon	3.	8¾	7½	14,38	34,28	18	18	0,00	5,87
a) Unverletzte Zellen (vgl. Tab. 3)	5.	10	8	20,00	40,00	20	19	5,00	5.00
	7.	8¼	6	23,88	39,42	22	20	9,09	13,63
	8.	13½	11	18,52	40,72	22	20	9,00	13,63
	13.	15	11	26,67	40,00	19¾	19	3,77	5,06
	18.	10	8½	15,00	32,50	19	18½	2,63	5,26
	22.	18½	17½	5,27	18,70	24	23	4,12	7,29
b) Verletzte Zellen	4.	7	6	14,28	42,86	20	19	5,00	5,00
(vgl. Tab. 4)	13.	14	12	14,28	42,85	16	15	6,25	9,25
	21.	14½	12	15,78	35,86	17	16½	2,71	3,82
	24.	10½	8	23,81	47,62	22¾	22	3,71	6,59
Tulipa Gesneriana	18.	13	12	7,69	23,08	11	10½	4,55	6,73
a) Unverletzte Zellen (vgl. Tab. 5)	19.	13	12	7,69	23,08	8	8	0,00	3,13
	20.	13	12	7,69	26,98	10½	10½	0,00	4,76
	21.	11½	10½	6,67	28,89	10½	10½	0,00	4,76
b) Verletzte Zellen	11.	15½	14	9,68	38,71	14½	14½	0,00	3,45
(vgl. Tab. 6)	12.	5	4½	10,00	35,00	14½	14½	0,00	3,45
	15.	8¾	8	8,57	40,00	14	13½	3,57	7,14
	22.	20¾	19	8,43	32,53	19	18	5,26	7,89
Passiflora coerulea	5.	11¼	9½	15,55	33,33	14	14	0,00	3,79
b) Verletzte Zellen	6.	15¼	12½	18,05	40,98	14	14	0,00	3,79
(vgl. Tab. 8)	11.	15¼	14	7,93	32,78	21	20½	2,38	4,76
	15.	12½	11½	8,00	24,00	12	12	0,00	4,17
	19.	8½	7	17,65	41,18	19½	19½	0,00	2.63
	24.	7	6	14,28	35,71	13¾	13½	1,82	5,46
	33.	7	6	14,28	35,71	14¾	14½	1,69	3,39
	34.	12½	11	10,20	44,00	12¾	12½	1,96	3,92

konnte. Diese waren die von Hannig verwendete konzentrierte Magnesiumchloridlösung, die von ihm als „gut brauchbar" empfohlene konzentrierte Rohrzuckerlösung, zur Ergänzung: absoluter Alkohol und Glyzerin.

Tabelle 32. Glyzerin.

Objekt	K.-N.	Breite der Zelle				Höhe der Zelle			
		In Wasser	In Glyzerin	Verkürzg. in %	Normale Verkürzg.	In Wasser	In Glyzerin	Verkürzg. in %	Normale Verkürzg.
Lilium candidum	2.	20	19	5,00	25,00	20	20	0,00	5,00
a) Unverletzte Zellen (vgl. Tab. 1)	6.	8	6	25,00	50,00	23	22	4,35	4,35
	7.	21½	20½	4,64	20,88	23	23	0,00	6,52
	9.	15	14	6,67	20,00	27	26	3,70	3,70
	10.	14	12½	10,71	25,00	27	27	0,00	3,70
	12.	5	4	20,00	40,00	19	19	0,00	5,24
	13.	10	9	10,00	40,00	26	26	0,00	3,85
b) Verletzte Zellen (vgl. Tab. 2)	3.	25	24	4,00	26,00	20	20	0,00	0,00
	4.	16	14	12,50	46,87	22	22	0,00	4,54
	5.	8	7	12,50	31,25	23	23	4,35	4,35
	10.	5	4½	10,00	40,00	19	19	0,00	5,24
Lilium Martagon	5.	10	8	20,00	40,00	20	19	5,00	5,00
a) Unverletzte Zellen (vgl. Tab. 3)	9.	15½	12	22,85	32,25	20	20	0,00	7,50
	11.	15	15	0,00	33,33	27	27	0,00	13,88
	13.	15	13	13,33	40,00	19¾	19½	1,29	5,06
	15.	16	15	6,08	35,94	19	19	0,00	6,47
	19.	10	9½	5,00	30,00	27	26½	1,89	6,48
	20.	14	13½	3,57	28,57	27	26½	1,89	6,48
	23.	14	12	14,28	33,93	22½	21	6,67	6,67
	24.	12	10	16,67	33,33	17	16½	2,94	5,87
Tulipa Gesneriana	14.	14½	13½	6,89	24,14	18	18	0,00	2,82
a) Unverletzte Zellen (vgl. Tab. 5)	17.	15	14	6,67	20,00	17½	17½	0,00	2,86
	22.	13¾	13	5,45	30,91	10	10	0,00	5,00
	23.	12¾	12	5,99	32,55	10	10	0,00	5,00
Passiflora coerulea	5.	11¼	10	11,11	33,33	14	14	0,00	3,79
b) Verletzte Zellen (vgl. Tab. 8)	6.	15¼	13	14,75	40,98	14	14	0,00	3,79
	11.	15¼	13½	11,47	32,78	21	20½	2,38	4,76
	15.	12½	12	4,00	24,00	12	12	0,00	4,17
	21.	16	14	12,50	43,75	18½	18	2,70	2,70
	37.	8	7	12,50	37,50	20½	20	2,39	2,39
	41.	8½	8	5,88	29,41	10	10	0,00	2,50
	42.	7½	7	7,14	33,33	15	15	0,00	3,33

Am meisten Schwierigkeiten bereitete das Übertragen der Zellen in die Versuchsflüssigkeit; sie gingen mir hierbei sehr oft verloren. In Rücksicht auf die im 1. Kapitel besprochene relative Häufigkeit extremen Verhaltens bei Faserzellen nahm ich die Eintragung in die Tabellen 29—32 nur dann vor, wenn mir von der betreffenden Versuchsgruppe wenigstens drei Messungen gelangen; die vereinzelten, nicht eingetragenen Zahlen stimmen im wesentlichen mit den angegebenen überein.

Wenn ich die Zellen in mit Wasser durchtränktem und gefülltem Zustande in die wasserentziehende Flüssigkeit legte, so zeigten sie, genau entsprechend den Beobachtungen Hannigs, zunächst eine Volumenverkleinerung, und zwar ohne daß jemals da-

bei Falten zu beobachten gewesen wären und in jedem Falle, ob die Zellen verletzt waren oder nicht. Immer ging auch diese Verkürzung ohne Auftreten von Luftblasen wieder zurück; aber wie bei Hannig die Schnitte sich nicht wieder völlig schlossen, so wurde auch hier die Breite der Zellen in Wasser nicht wieder erreicht.

Die Verkleinerung der Zellen konnte ich nicht mit Sicherheit messen, weil sie immer sehr schnell auftrat und weil ich wegen des Fehlens der Luftblasen keinen Anhaltspunkt für die genaue Zeit der Messung hatte. Dagegen war es möglich, die Dimensionen der Zelle nach dem Ausgleich der Kontraktion genau festzustellen, weil diese, soweit ich beobachtet habe, sich dann nicht mehr ändern.

Die aus diesen Messungen erhaltenen Werte finden sich in den Tabellen 29—32 zusammengestellt und zwar für verletzte und unverletzte Zellen gesondert. Die in der Kolonne K-N = „Kontrollnummer" stehende Zahl bezieht sich auf die entsprechende Nummer in den Tabellen 1—8; aus diesen ist auch die normale Verkürzung in Prozent zum Vergleich beigefügt.

Zur Übersicht diene die hier folgende Mittelwerttabelle; mit a sind die unverletzten, mit b die verletzten Zellen bezeichnet.

Tabelle 33.

Versuchsflüssigkeit	Objekt		Zahl der Zellen	Breiteverkürzung in %		Höhenverkürzung in %	
				In der Versuchsflüssigkeit	Totale Verkürzg. derselb. Zellen	In der Versuchsflüssigkeit	Totale Verkürzg. derselb. Zellen
Gesättigte Magnesiumchloridlösung	*Lilium candidum*	a	7	11,24	31,77	2,26	4,44
		b	7	10,80	36,24	0,99	4,10
	Lilium Martagon	a	9	10,12	31,05	2,18	6,74
		b	5	16,20	40,99	2,62	6,49
	Tulipa Gesneriana	a	3	9,73	27,82	0,00	4,29
		b	6	9,90	35,51	0,98	2,65
	Passiflora coerulea	b	9	11,86	33,54	1,54	4,18
	Gesamtmittelwert		46	11,43	33,95	1,63	4,75
Gesättigte Rohrzuckerlösung	*Lilium Martagon*	b	3	17,14	41,08	3,42	6,15
	Tulipa Gesneriana	b	3	9,69	28,80	3,25	6,09
	Passiflora coerulea	a	3	8,39	32,81	1,86	2,86
		b	5	12,19	36,73	1,29	4,57
	Gesamtmittelwert		14	11,85	32,26	2,29	4,87
Absoluter Alkohol	*Lilium candidum*	a	3	7,83	34,33	1,59	4,84
	Lilium Martagon	a	7	17,67	35,10	4,81	7,85
		b	4	17,06	42,30	4,42	6,16
	Tulipa Gesneriana	a	4	7,44	25,49	1,14	4,85
		b	4	9,17	36,56	2,21	5,48
	Passiflora coerulea	b	8	13,24	36,71	0,98	3,99
	Gesamtmittelwert		30	12,84	35,13	2,58	5,61
Glyzerin	*Lilium candidum*	a	7	17,43	31,55	1,15	5,77
		b	4	9,75	36,03	1,09	3,54
	Lilium Martagon	a	9	11,31	34,15	2,18	7,05
	Tulipa Gesneriana	a	4	6,25	26,90	0,00	3,37
	Passiflora coerulea	b	8	9,92	34,37	0,93	3,68
	Gesamtmittelwert		32	10,22	32,91	1,27	4,78

Hieraus geht hervor, daß in wasserentziehenden Lösungen verletzte und unverletzte Zellen sich gleich verhalten; die Beobachtungen Hannigs sind also zum Beweis des Kohäsionsmechanismus vollständig untauglich; denn die von ihm festgestellte, auf die Öffnungsbewegung folgende Schließung der Querschnitte beruhte auf Quellung der Wände, indem anstelle des entzogenen Wassers die Lösung selbst trat. Diese Quellung ist freilich nicht so groß wie die in Wasser, und es dürfte interessant sein, ihre Größe zahlenmäßig anzugeben. Es läßt sich dies mit den Angaben der Tabelle 33 ohne weiteres ausführen. Das Vorgehen ist hiebei folgendes:

Die normale Quellung ist = Trockenverkürzung = Q_1; die Quellung in der Versuchsflüssigkeit = Trockenverkürzung (bezw. maximale Quellung) minus Verkürzung in der betr. Flüssigkeit = Q_2. Das Verhältnis $Q_2 : Q_1$ gibt die Quellung in der Versuchsflüssigkeit, wenn die normale $Q_1 = 1$ gesetzt ist. So ergibt sich z. B. für *Lilium candidum* a. in $MgCl_2$ konz. laut Tabelle 33 $Q_1 = 31{,}77$ (%); $Q_2 = 31{,}77 - 11{,}24 = 20{,}55$; $Q_2 : Q_1 = 20{,}55 : 31{,}77 = 0{,}65$. — Die auf diese Weise erhaltenen Zahlen sind:

Tabelle 34.

		In $MgCl_2$ konz.	In Rohrzucker konz.	In Alkohol abs.	In Glyzerin
Lilium candidum	a	0,65	—	0,77	0,64
	b	0,71	—	—	0,73
Lilium Martagon	a	0,67	—	0,49	0,67
	b	0,61	0,58	0,57	—
Tulipa Gesneriana	a	0,65	—	0,71	0,77
	b	0,75	0,66	0,75	—
Passiflora coerulea	a	—	0,75	—	—
	b	0,64	0,67	0,64	0,71

Die Quellung erweist sich demnach in allen diesen Fällen als beträchtlich, so daß sie wohl imstande ist, die von Hannig beobachtete Schließung von Querschnitten in $MgCl_2$ zu erklären. Hierdurch hat sich seine Beweisführung in ihrem Fundament als unzutreffend erwiesen.

Im folgenden soll auf einige Tatsachen eingegangen werden, die Hannig als sekundäre Stützen seines Beweises anführt. Zuerst kommen hier seine Versuche mit $MgCl_2$-Lösungen von allmählich steigendem Salzgehalt in Betracht. Er sagt (S. 195 f.): „Wenn Kohäsionsmechanismus vorliegt, so muß . . . die Öffnungsbewegung ausbleiben, wenn die Wasserentziehung allmählich und so langsam geführt wird, daß in keinem Moment größere Wassermengen auf einmal aus dem Zellinnern herausgerissen werden, sondern der Diffusionsausgleich nach jeder geringfügigen Wasser-

entziehung sofort stattfindet." Tatsächlich öffneten sich Antherenquerschnitte in allmählich steigenden Konzentrationen von $MgCl_2$-Lösungen (10%, 20%, 30% . . . . 150%) nicht. „Läge hygroskopischer Mechanismus vor, so müßten die Antheren in den angeführten Versuchen mit steigender Konzentration allmählich aufgehen und schließlich dauernd geöffnet bleiben."

Der letzte Satz und damit die ganze Beweiskraft dieser Versuche beruht wiederum auf der von Hannig allgemein gemachten, nicht bewiesenen und im obigen unzutreffend befundenen Voraussetzung, daß die Membranen in den Lösungen im maximalen Schrumpfungszustand verharren. Wie gezeigt wurde, quellen diese Membranen auch in konzentrierten Salzlösungen, wodurch das von Hannig beobachtete Verhalten der Schnitte in Lösungen von steigender Konzentration ohne weiteres erklärt ist. Denn gerade so gut, wie der Diffusionsausgleich nach dem Zellinnern nach jeder geringen Wasserentziehung hat stattfinden können, konnte auch die den Membranen entzogene Inbibitionsflüssigkeit durch solche von um 10% höherer Konzentration ersetzt werden.

Eine zweite sekundäre Stütze, die Hannig seiner Beweisführung beigibt, ist die Beobachtung, daß „wasserdurchtränkte Schnitte, deren Faserzellen sämtlich angeschnitten sind, beim Einlegen in $MgCl_2$-Lösung keinerlei Bewegung zeigen" (S. 218). — Bemerkungen über die Herstellung und Behandlung solcher Schnitte finden sich im 4. Kapitel; sie gelten auch hier. Sicheren Aufschluß über das Verhalten angeschnittener Zellen geben isolierte, defekte Zellen; ich habe über solche oben im Text und in den Tabellen ausführlich berichtet. Außerdem behandelte ich noch Mikrotomschnitte, die ich nach der im 4. Kapitel angegebenen Methode erhalten hatte, mit $MgCl_2$ konz. unter Anwendung der ebendort beschriebenen Schutzmaßregeln gegen das Ankleben am Objektträger und konnte, wenn genügend Membranen parallel der Schnittfläche noch vorhanden waren, deutlich Öffnungs- und Schließbewegungen beobachten.

Am Schlusse möge mir die Bemerkung erlaubt sein, daß sich Hannig wohl selbst nicht recht klar geworden ist über den Gang seines Beweises; er berichtet nämlich in einer Nachschrift (S. 218), daß sich lufttrockene Schnitte alsbald schließen, wenn sie mit konzentrierter $MgCl_2$-Lösung betropft werden, und fügt bei: „Daraus geht hervor, daß Antherenmembranen in $MgCl_2$-Lösung sogar noch aufzuquellen vermögen." Und um diesen Satz zu entkräften, spricht er sofort von dem soeben erwähnten Verhalten jener Schnitte, deren sämtliche Zellen angeschnitten seien.

Mit der Annahme der Quellungsfähigkeit der Membranen in $MgCl_2$ konz. ist nun aber den Versuchen Hannigs jede Beweiskraft genommen; denn es kann in diesem Falle die Schließbewegung der Schnitte ebensowohl auf Quellung wie auf elastischer Entspannung der Membranen beruht haben. Andrerseits hätte Hannig, da er die Kohäsionstheorie vertritt, im vorliegenden Falle überhaupt nicht auf Quellung schließen dürfen; denn es beruht dann die Schließung auch in $MgCl_2$ konz. nicht auf Quellung der Membranen,

sondern auf deren elastischer Entspannung, d. h. auf Ausglättung der Kohäsionsfalten, nachdem die Membranen ihre Elastizität wiedererlangt haben.

d) Zusammenfassung.

1. Beobachtet wurde von Hannig und mir übereinstimmend, daß Antherenquerschnitte zuerst sich öffnen, bezw. daß isolierte Faserzellen zuerst sich kontrahieren, wenn sie in wasserdurchtränktem Zustande in wasserentziehende Lösungen gebracht werden, daß aber diese Öffnung bezw. Kontraktion sofort wieder und zwar definitiv zurückgeht, alles ohne Zucken und ohne Auftreten von Gasblasen.

2. Hannig nimmt an, daß die Kontraktion der Faserzellmembranen in wasserentziehenden Lösungen dauernd die größtmögliche sei und bezeichnet deshalb die Schließung in den wasserentziehenden Lösungen, und entsprechend auch die Öffnung als Kohäsionsvorgang.

3. Diese Annahme Hannigs ist nicht ohne weiteres berechtigt, denn

a) auch Mechanismen, die zweifellos rein hygroskopisch sind, vermögen sich in wasserentziehenden Lösungen zu öffnen und nachher wieder zu schließen; bezügliche Beobachtungen von Steinbrinck an einer *Lupinus*-Hülse und an Moosperistomen, von mir an Elateren von *Equisetum*-Sporen;

b) es ist häufig beobachtet worden, daß Membranen auch in konz. Salzlösungen zu quellen vermögen (Reinke); speziell das von Hannig verwendete $MgCl_2$ wirkt in Lösung quellungsbegünstigend (Hofmeister).

4. Die Annahme Hannigs trifft bei Antheren nicht zu; ihre Membranen quellen vielmehr in den wasserentziehenden Lösungen beträchtlich, denn

a) isolierte Zellen zeigen in $MgCl_2$ konz., sowie in andern wasserentziehenden Flüssigkeiten dasselbe unter 1. beschriebene Verhalten, ohne Rücksicht darauf, ob sie defekt oder unverletzt sind;

b) wasserdurchtränkte Querschnitte, bei denen alle Faserzellen angeschnitten sind (Mikrotomschnitte) zeigen ebenfalls in den Lösungen zuerst Öffnung und dann wieder Schließung, sofern parallel der Schnittfläche noch eine genügende Anzahl Membranen vorhanden ist.

II. Teil. Über den hygroskopischen Öffnungsmechanismus der Antheren.

Aus dem ersten Teil der vorliegenden Arbeit hat sich ergeben, daß die Antherenöffnung auf Schrumpfung und nicht auf Kohäsion beruht, denn

1. Die Leistungsfähigkeit der Kohäsion ist quantitativ ungenügend, um die Veränderungen der Antheren bei ihrer Öffnung hervorzurufen; sie kann höchstens als sekundäres, nicht notwendiges Hilfsmittel in Frage kommen (1. Kapitel).

2. Tatsächlich wird die Leistung der durch Kohäsion wirkenden Zellen schon in den ersten Öffnungsstadien geringer, als die der hygroskopisch wirksamen; Beweis durch Beobachtung der Luftblasen (2. Kapitel).

3. Es treten keine Kohäsionsfalten auf (3. Kapitel).

4. Öffnung tritt auch bei Ausschluß der Kohäsion ein (4. u. 5. Kapitel).

Nach dieser Feststellung handelt es sich darum, die Wirkungsweise des hygroskopischen Mechanismus nach Möglichkeit aufzuklären. Zu diesem Zwecke sind die verschiedenen Membranen, welche in den Antheren vorkommen, auf ihre hygroskopische Leistungsfähigkeit zu prüfen und in ihrer Wirksamkeit gegenseitig zu vergleichen.

1. Kapitel. Geschichtlicher Überblick und Stand der Frage.

In den Klappen der reifen Antheren sind 3 Lagen von Zellen zu unterscheiden: zu äußerst die Epidermis, darunter die ein- oder mehrschichtige Faserzellage und als Auskleidung der Klappenhöhle das Tapetum.

Das Tapetum kommt für den Öffnungsmechanismus nicht in Betracht, da es zur Zeit der Öffnung nur noch aus Zellresten besteht oder vollständig resorbiert ist. Tatsächlich unterscheiden sich auch nach Schneider (1908, S. 28 f.), welcher bezügliche Experimente anstellte, „Klappenstücke, welche der Tapete beraubt sind, in der Bewegung nicht von jenen, welche die Tapete besitzen".

In die Epidermis haben einige frühere Forscher, wenigstens zum Teil, den Mechanismus verlegt; so Mohl (1830, 1845) und Chatin (1870). Sie gingen hierbei von der (nicht bewiesenen) Ansicht aus, daß unverdickte Membranen allgemein stärker schrumpfen als verdickte. „Eine notwendige Folge hiervon ist, daß eine austrocknende Antherenwandung sich wegen stärkerer Kontraktion ihrer Epidermis und des äußeren (unverdickten) Teils der Endotheciumzellen nach außen zu krümmt" (Mohl, 1845, S. 64). — Diese Ansicht von der Aktivität der Epidermis wurde bekämpft von Schinz (1883), Schrodt (1885), Leclerc du Sablon (1885), Steinbrinck, Brodtmann (1898), Schwendener (1899), Colling (1905), Schneider (1908) und Hannig (1910), meist unter Hinweis auf die Tatsachen, daß einerseits die Epidermis bei geöffneten Antheren stark gefaltet und zerknittert ist, und daß anderseits die Öffnungsbewegung unverändert vor sich geht, wenn auch die Epidermis entfernt ist. Nach Schneider (1908, S. 26 ff.), der an isolierten Epidermisstücken eine zur Öffnungsbewegung gegensinnige Krümmung beobachtet hat, ist die Epidermis nicht bloß nicht aktiv, sondern leistet sogar gegen das Zurückkrümmen der Klappen Widerstand, den die Faserzellschichten überwinden

müssen. Hannig (S. 210) hält dieses letzte nicht für zutreffend, indem er darauf hinweist, daß „bei den Versuchen von Schneider die Außenfläche der Epidermis durch eine starke Kutikula in der Wasserabgabe gehemmt, die Innenseite dagegen wahrscheinlich durch Verletzungen bei der Ablösung gefördert ist.“ Demnach wäre die von Schneider beobachtete Krümmung der Epidermis eine Folge der Präparation. — Ob dies der Fall ist, lasse ich dahingestellt; jedenfalls geht aus den Versuchen mit epidermislosen Antherenstücken hervor, daß die Öffnung der Antheren nicht auf die Aktivität der Epidermis zurückzuführen ist.

Es kommt demnach als Sitz des hygroskopischen Mechanismus nur noch die Faserzellage in Betracht, und es erhebt sich die Frage, ob die Fasern allein oder die dünne Membran allein aktiv sich verkürzen oder ob Schrumpfungen beider kombiniert sind.

Den Fasern schrieben zuerst Purkinje (1830) und Meyen (1828—1839) Aktivität zu. Daß ersterer die Fasern für mit Wasser gefüllte Röhren hielt und glaubte, es gebe auch freie Fasern ohne Zellen, hat nur historisches Interesse. Nach Purkinje beruht die Aktivität der Fasern auf Elastizität, nach Meyen auf Hygroskopizität; beiden fehlen eigentliche Beweise. Ihrer Ansicht trat bereits Mohl entgegen (1845, vgl. obiges Zitat). Später griff Schinz die Frage wieder auf; er hält die Fasern für aktiv, indem sie ihre äußeren, der Epidermis zugekehrten Ränder einander beim Austrocknen nähern, weil „der größte Wasserverlust beim Austrocknen die innersten, dem Lumen angrenzenden Schichten der verdickten Stellen trifft“ (S. 43). Seine Ansicht wurde bis auf Schneider ausnahmslos abgelehnt; so von Schrodt (1885, S. 39), Steinbrinck (von 1891 an), Brodtmann (1898, S. 39), Schwendener (1899, vgl. auch „Mechanische Probleme“, 1909, S. 130) und Colling (1905). Direkte bezügliche Beobachtungen führt Schwendener (S. 106) an; isolierte Fasern von *Tulipa Gesneriana*, die er durch Zerreiben von Schnitten erhalten hat, zeigten beim Austrocknen keine meßbare Verkürzung oder Formveränderung.

Im Gegensatz zu Schinz verlegten Schrodt (1885), Leclerc du Sablon (1885), Steinbrinck (bis 1898), Brodtmann (1898), Schwendener (1899) und Colling (1905) den Sitz des hygroskopischen Mechanismus in die dünne Membran. Daß die dünnen Membranen aktiv schrumpfen, wurde von allen Anhängern der Schrumpfungstheorie angenommen (mit Ausnahme von Schinz); als Gegner kommen die Vertreter der Kohäsionstheorie in Betracht, welche als Öffnungsursache die Membranschrumpfung überhaupt verwerfen.

Die dritte Möglichkeit, daß sowohl Fasern als dünne Membran an der aktiven Schrumpfung beteiligt sind, hat als erster Schneider (1908) in Betracht gezogen. Er geht hierbei von der Beobachtung aus, daß die von ihm bei *Tulipa* entdeckten Doppelsternzellen, d. h. Zellen, deren Fasern sowohl auf der Epidermal- als auf der Locularwand anastomisieren, beim Austrocknen allseitig kleiner werden. S. 56: „Ohne Kontraktion der Stäbe können diese Zellen sich hygroskopisch entweder gar nicht verändern, oder sie werden

einerseits schmäler und anderseits länger.“ Bei Schrauben- und Ringzellen ist die Verkleinerung „ebenfalls nur in einer Richtung (nämlich quer zu den Fasern) möglich, während sie bei Bank-, Griff- und U-förmig verdickten Zellen ohne sehr große Polmembran nicht allseitig in erheblichem Maße stattfinden kann. Für sehr viele Fälle zwingt demnach die mathematische Überlegung zur Annahme der aktiven Faserschrumpfung“ (S. 57). Durch direkte Messungen stellte dann Schneider fest, daß sowohl die Verdickungsfasern als die dünne Membran beim Austrocknen sich verkürzen. Wie sich die Schrumpfungen dieser beiden Membranelemente quantitativ zueinander verhalten und wie sie zusammenwirken, hat Schneider nicht untersucht.

Aus diesem geschichtlichen Überblick geht hervor, daß über den Verlauf des Schrumpfungsvorgangs, auf dem die Antherenöffnung beruht, die Ansichten sehr verschieden sind. Ich habe deshalb im folgenden versucht, die Schrumpfung der Fasern sowie der dünnen Membran in verschiedenen Richtungen durch Messungen quantitativ festzustellen. Es sollen also im folgenden die Versuche Schneiders weiter ausgedehnt werden, um so das Verhältnis der Veränderung der Faserkrümmung beim Austrocknen zur Schrumpfung der dünnen Membran festzustellen und damit die Bedeutung der beiden Faktoren für den Öffnungsmechanismus zu ermitteln.

2. Kapitel. Verhalten isolierter Fasern bei Wasserverlust.

Einzelne Fasern ohne dünne Membran erhielt ich durch Isolieren mit der Nadel unter dem binokularen Mikroskop. Das Material war dasselbe, wie im 1. Kapitel, also nie mit etwas anderem, als mit Wasser in Berührung gekommen. Die Untersuchung geschah hier und in allen folgenden Versuchen mit Zeiß, Objektiv F, Okular 3; die Vergrößerung ist 760, der Mikrometerwert 1,55 μ. — Um die Veränderungen der Objekte bei Wasserzufuhr zu untersuchen, verwendete ich mit Vorteil einen kleinen Gummischlauch. Das eine Ende desselben, welches ich mit einem gläsernen Mundstück versehen hatte, steckte ich in den Mund; das andere Ende richtete ich auf das Präparat. So konnte ich diesem durch meine Atemluft Wasser zuführen und die Faser gleichzeitig unausgesetzt im Mikroskop beobachten. Es war dies deshalb von Vorteil, weil ich dann die sehr kleinen Objekte nie aus dem Auge verlor und eine Veränderung ihrer Form oder ihrer Lage direkt beobachten konnte. Doch läßt sich dies nur mit schwachen Objektiven ausführen, weil sich starke Objektive, infolge des geringen Objektabstandes beim Anhauchen des Objektes mit Wasser beschlagen, und dann undurchsichtig werden. Ich benutzte Zeiß A, indem ich das bei den Messungen verwendete Objektiv F am Revolver wegdrehte. — Die Präparate schob ich während der Versuche mehrmals mit der Nadel auf dem Objektträger hin und her, um das Ankleben zu verhindern.

Zuerst suchte ich die Veränderungen des Querschnittes der Fasern zu messen. Zur Beobachtung kamen isolierte Faserstücke;

Querschnitte von solchen zu untersuchen, war mir nicht möglich. Denn wenn solche dem Objektträger aufliegen, so kleben sie sicher an.

Meine Messungen ergaben, daß die Fasern durch das Austrocknen in der Richtung des Radius der Zelle dicker werden, in tangentialer Richtung aber dünner.

In Wasser ist die Faser in radialer Richtung, also senkrecht zur dünnen Membran weniger breit, als in tangentialer; der Querschnitt stellt also annähernd eine Ellipse dar, deren längere Achse mit der Richtung der Tangente an die Zelle zusammenfällt. Durch das Austrocknen nähern sich demnach die Werte der beiden Achsen gegenseitig; die längere wird kürzer, die kürzere länger.

Die Messungsresultate sind, soweit sie *Tulipa* betreffen, in den folgenden Tabellen mitgeteilt; außerdem untersuchte ich noch einige Fasern von *Lilium candidum;* ihr Verhalten war prinzipiell dasselbe wie bei *Tulipa*. Die in den Tabellen angegebenen Zahlen sind die in μ umgerechneten Mikrometerwerte und Mittel aus zwei Messungen.

Tabelle 35a und b.

Veränderungen des Querschnittes isolierter Fasern von *Tulipa Gesneriana* bei Wasserverlust.

a) Parallel der dünnen Membran.

No.	In Wasser Dicke in μ	Trocken Dicke in μ	Verkürzg. in %
1.	5,42	4,26	21,22
2.	4,26	3,49	18,07
3.	3,10	2,52	15,49
4.	3,10	2,52	15,49
5.	4,06	3,29	18,99
6.	3,87	3,29	14,99
7.	4,06	3,29	18,99
8.	3,68	3,10	15,76
9.	4,84	4,06	16,11
10.	4,84	4,26	11,98
11.	4,45	3,87	13,03
12.	3,87	3,29	14,99
13.	3,68	3,10	15,76
14.	4,65	4,06	12,69
15.	4,45	3,78	13,03
16.	3,49	3,10	11,17
17.	3,68	3,10	15,76
18.	3,87	3,29	14,99
19.	3,49	3,10	11,17
20.	2,90	2,71	6,55
21.	2,32	1,93	21,21
22.	1,93	1,73	10,36
23.	2,32	2,13	8,19
24.	3,10	2,71	12,58
25.	3,87	3,29	14,99
26.	3,49	3,10	11,17
		Mittelwert:	14,41

b) Senkrecht dazu.

No.	In Wasser Dicke in μ	Trocken Dicke in μ	Verlängrg. in %
1.	2,32	3,10	33,62
2.	1,36	1,93	41,91
3.	1,16	1,55	33,62
4.	1,16	1,36	17,52
5.	1,55	1,93	24,52
6.	2,32	2,90	25,00
7.	1,93	2,32	20,21
8.	1,55	1,93	24,52
9.	1,93	2,32	20,21
10.	1,55	1,93	24,52
11.	1,55	1,93	24,52
12.	2,32	2,71	16,81
13.	1,74	2,13	22,41
14.	1,55	1,93	24,52
15.	2,52	3,10	22,75
16.	1,36	1,93	41,91
17.	1,55	1,93	24,75
18.	2,32	2,90	25,00
19.	1,93	2,32	20,21
		Mittelwert:	25,68

Es verkürzen sich demnach die Fasern beim Austrocknen parallel der dünnen Membran um 14,41 % und werden senkrecht dazu um 25,68 % dicker. Es fragt sich, wieviel hierdurch die Fläche des Querschnitts vergrößert wird. Nimmt man diesen als Ellispe an und setzt ihren Flächeninhalt im imbibierten Zustand $= a\,b\,\pi$, so ist er in der Trockenheit $= a\left(1 - \frac{15}{100}\right) \cdot b\left(1 + \frac{25}{100}\right)\pi$, wenn man die obigen prozentualen Werte zu 15 und 25 % auf- bezw. abrundet. Der Querschnitt der Fasern im feuchten Zustand verhält sich somit zu dem im trockenen wie $1 : \frac{85}{80} = 80 : 85$; seine Fläche hat durch das Austrocknen um 6 % zugenommen.

Es scheint, daß Schneider, der nur von einer Verdickung der Fasern spricht, bloß die Dimension der Fasern senkrecht zur dünnen Membran gemessen hat, worauf auch seine Figuren 6, 8, 9, 10 S. 60 ff. hindeuten. Er erhielt folgende Werte:

Tabelle 36. (Nach Schneider.)

No. nach Schneider	In Wasser Dicke in μ	Trocken Dicke in μ	Verlängrg. in %
b) S. 60	2,214	2,706	22,22
	1,722	2,214	30,33
l) S. 62 (2 Fasern)	5,00	6,20	24,00
n) S. 63	2,46	3,08	29,27
o) S. 63	2,829	3,444	21,74
	1,23	1,845	50,00
e) S. 68	3,69	3,94	6,78
		4,12	11,65
		Mittelwert:	24,45

Es zeigt sich, daß der von Schneider gefundene Mittelwert 24,45 % gut übereinstimmt mit dem von mir gefundenen (25,68 %) für die Zunahme der Dicke der Fasern senkrecht zur dünnen Membran. —

Sollen die Fasern durch ihre Hygroskopizität das Öffnen der Antheren bewirken, so kommt besonders ihre Formveränderung in der Längsrichtung in Frage. Es muß hierbei die Quellbarkeit der radial hintereinander liegenden Schichten nach innen zunehmen, weil sich nur dann die Faserenden beim Austrocknen auf der Epidermalseite nähern, also eine Bewegung im Sinne der Öffnung der Klappen ausführen. Eine gleichmäßige Schrumpfung aller Schichten würde die Klappen nur kleiner machen, ohne sie zu öffnen.

Ich untersuchte isolierte U-förmig gebogene Faserstücke; die Verbindungsstelle der beiden Schenkel entspricht der Locularwand der Zelle. Mit dem Prisma fertigte ich Zeichnungen der Objekte an und nahm auch hier jede Messung zweimal vor; in den Tabellen stehen immer die Mittelwerte der zwei Messungen. Ich maß die innere Sehnenlänge und die innere Pfeilhöhe; um einen Anhalts-

punkt für das Ansetzen des Mikrometers beim Messen der Sehne zu haben, maß ich immer ihren größten Wert; dieser lag bei geringer Pfeilhöhe (also bei abgebrochenen Fasern) an den Faser-

Fig. 1. *Lilium candidum.* Faser Nr. 17 im feuchten Zustand.

enden, bei größerer Länge der Schenkel etwas unterhalb derselben; vergl. die Figur, gemessen wurde a.

Tabelle 37 u. 38. Isolierte U-Fasern ohne dünne Membran.

37. *Tulipa Gesneriana.*

o.	Sehne			Pfeilhöhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %	In Wasser	Trocken	+ %
1.	10½	9½	9,50	25½	25	— 1,97
2.	11	10	9,09	32	31	— 3,13
3.	45	44	2,22	30	30	0,00
4.	20	19	5,00	15	15	0,00
5.	13	12	7,69	25	24	— 4,00
6.	14	12¾	8,93	11	11	0,00
7.	16¾	15¾	5,97	2	2½	+ 12,50
8.	17¼	16	7,24	5	5½	+ 10,00
9.	9¾	9	8,33	21	20	— 4,77
0.	11¾	10½	10,64	9½	10½	+ 10,50
..	7¾	6¾	12,94	8	8½	+ 6,25
2.	13¼	11¾	11,29	9	10	+ 11,11
3.	15	13¼	11,67	9	9½	+ 5,56
4.	14¾	14	5,08	9	9	0,00
5.	17	16¼	4,41	10½	10	— 4,76
6.	6½	6	8,33	16	15¼	— 4,75
7.	6	5¼	12,50			
8.	12½	11	12,50	9	9½	+ 5,56
9.	22¾	21½	5,49	11	11	0,00
0.	8	7	12,50	—	—	—
..	6	5¼	12,50	8	8	0,00
2.	8	7	12,50	24½	23¼	— 5,10
3.	19½	17¾	8,97	18	17	— 5,56
..	15	13¾	8,33	19	18	— 5,26

Mittelwert: 8,88

38. *Lilium candidum.*

No.	Sehne			Pfeilhöhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %	In Wasser	Trocken	+ %
1.	19¼	18	6,39	37	35½	— 4,06
2.	9¼	8	13,52	42	40	— 4,76
3.	6	5½	8,33	12	12¾	+ 6,25
4.	7	6¼	10,71	13	13½	+ 3,85
5.	7	6½	7,14			
6.	7¾	7	9,68	38	36½	— 3,95
7.	10½	9¾	7,14	40	38	— 5,00
8.	9½	8¼	13,16	24	23	— 4,17
9.	10	9½	5,00	15	15	0,00
				47	45	— 4,03
10.	7	6	14,29	16½	15	— 9,09
11.	34	32	5,88	21	20	— 4,77
12.	49½	47	5,01	51½	48	— 6,79
13.	34	31½	7,14	38½	37	— 3,12
14.	14	12½	10,71	—	—	—
15.	7¼	6¾	6,89	42	40¼	— 6,07
16.	18	16¼	9,73	18	17¼	4,17
17.	16	14¾	10,94	53½	50	— 6,54
18.	7¼	6½	10,94	66	62	— 6,06
19.	13½	12	11,11	46	43	— 6,52
				20	19¼	— 3,75
20.	7	6½	7,14	13¼	15	+ 8,33

Mittelwert: 9,00

Es ist natürlich nicht gleichgültig, an welcher Stelle man die Länge der Sehne mißt; ich maß immer die größte Breite deshalb, weil sich dann die so erhaltenen Werte mit denen der Tabellen 1, 2, 5 und 6 vergleichen lassen. Dort habe ich nämlich die Größe der Breiteverkürzung der Zellen ebenfalls durch Messung jeweilen ihrer größten Breite bestimmt. Wenn die Faserschrumpfung allein die dort gemessene Kontraktion der Zellen und somit auch die Öffnung hervorbringt, so mußte sich eine Sehnenverkürzung der Fasern ergeben, welche ungefähr übereinstimmt mit der Breitenverkürzung der entsprechenden Zellen, wie sie aus den Tabellen 1, 2, 5 und 6 zu entnehmen ist.

Durch Messung des Abstandes b oder c (vgl. Fig. 1) würde man freilich größere Werte für die Sehnenverkürzung erhalten, doch wäre dort auch die zu vergleichende Breiteverkürzung der ganzen Zelle größer. So bestimmte Schwendener (1899, S. 105) bei *Tulipa* die Kontraktion der Außenseite der Klappen, welche der Kontraktion der Zellen an ihrem äußersten, epidermalen Ende entspricht (also in der Figur der Kontraktion in b oder c) zu 53 %; an der hier in Betracht kommenden Stelle der größten Breite der Zelle beträgt sie dagegen nach Tabellen 5 und 6 nur ca. 30 %. Im wesentlichen ist das Verhältnis zwischen Sehnenverkürzung der isolierten Faser und Breiteverkürzung der ganzen Zelle dasselbe, ob die entsprechenden Werte in a oder dann in b bezw. c miteinander verglichen werden. Weil mir aber aus den Tabellen 1, 2, 5 und 6 für die ganzen Zellen nur die Werte der Verkürzung in a bekannt sind, so lassen sich die Werte für die Sehnenverkürzung nur dann mit ihnen vergleichen, wenn sie sich ebenfalls auf a beziehen.

Aus den Tabellen 37 und 38 ergibt sich, daß bei isolierten Fasern die Sehne in a beim Austrocknen um ca. 9 % kleiner wird; die Fasern besitzen also eine aktive Schrumpfung im Sinne der Öffnungsbewegung. Die entsprechende Verkürzung der ganzen Zellen, auf welcher die Öffnung beruht, beträgt aber nach den Tabellen 1, 2, 5, 6 bei *Tulipa* und *Lilium candidum* ca. 30—33 %; folglich genügen die Schrumpfungsdifferenzen zwischen den innern und äußern Schichten der Fasern, auf welchen die zu 9 % bestimmte Sehnenverkürzung beruht, nicht, um den Öffnungsvorgang quantitativ zu erklären.

Dieser Vergleich ist allerdings nur zulässig, wenn isolierte ganze, mediane U-Fasern, d. h. solche, die einem größten Kugelkreise entsprechen würden, wenn man die Zelle als Kugel auffaßt, verglichen werden mit ganzen Zellen, welche dieselben Dimensionen besitzen. In den Tabellen 37 und 38 sind die Fasern einfach in der Reihenfolge aufgeführt, wie ich sie isoliert habe, ohne Rücksicht darauf, ob es sich um radiale oder tangentiale U-förmige Fasern handelt.

Ganze, mediane U-Fasern sind mit Sicherheit nicht leicht zu erhalten, und ich fand deren bei Durchsicht meiner Zeichnungen bei *Tulipa* und *Lilium candidum* nur je 5. Zu diesen suchte ich dann aus den Tabellen 5 und 6 bezw. 1 und 2 jene Zellen zum

Vergleich heraus, welche möglichst gleiche Dimensionen zeigen. Weil die ganzen Zellen mit 320facher, die Fasern aber mit 760facher Vergrößerung gemessen sind, habe ich die Maße aus den Tabellen 1, 2, 5 und 6 jeweilen mit 2,4 multipliziert. Bei den Fasern maß ich ferner die innere Sehne und die innere Pfeilhöhe, bei den Zellen aber jeweilen die äußeren Dimensionen. Es war demnach von den Werten der Tabellen 1, 2, 5, 6 immer die doppelte Faserbreite abzuziehen; ich habe sie mit einem Teilstrich in Rechnung gebracht, weil bei der dort angewendeten Vergrößerung die Faserbreite ca. $^1/_2$ Teilstrich beträgt.

Leider fand ich nicht für alle Fasern bei den Zellen Gegenstücke von wenigstens annähernd denselben Dimensionen. Bei der großen Mannigfaltigkeit, welche die einzelnen Faserzellen derselben Anthere in bezug auf ihre verschiedenen Dimensionen aufweisen, kann dies nicht auffallen. Ich nahm dann zum Vergleich solche Zellen, bei welchen das Verhältnis Breite : Höhe mit dem der isolierten Fasern übereinstimmt; im 1. Kapitel des I. Teiles habe ich ja nachgewiesen, daß die Größe der Breiteverkürzung im allgemeinen mit diesem Verhältnis in Beziehung steht.

Der Vergleich ist in der folgenden Tabelle ausgeführt; K.-N. bedeutet wieder „Kontrollnummer" und soll die Kontrolle mit den dort zitierten Tabellen ermöglichen.

Tabelle 39.

Isolierte, ganze Faser					Isolierte Zelle zum Vergleich				
K.-N.	Sehne in Wasser	Pfeilhöhe in Wasser	Verhältnis Sehne : Pfeilhöhe	Verkürzg. der Sehne in %	K.-N.	Breite in Wasser	Höhe in Wasser	Verhältnis Breite : Höhe	Breiteverkürzung in %
Tulipa									
2 Tab. 37	11	32	0,34 : 1	9,09	6 Tab. 6	9,6	32,4	0,29 : 1	35,00
6	14	11	1,27 : 1	8,93	11 Tab. 5	19,2	16,8	1,14 : 1	22,22
14	$14^3/_4$	9	1,62 : 1	5,09	19 Tab. 5	28,8	17,8	1,66 : 1	23,08
23	$19^1/_2$	18	1,08 : 1	8,97	11 Tab. 5	19,2	16,8	1,14 : 1	22,22
24	15	19	0,79 : 1	8,33	8 Tab. 5	21	28,8	0,73 : 1	27,27
			Mittelwert: 8,80					Mittelwert: 25,96	
Lilium									
1 Tab. 38	$19^1/_4$	37	0,53 : 1	6,39	6 Tab. 2	14,4	28,8	0,50 : 1	17,86
7	$10^1/_2$	40	0,26 : 1	7,14	12 Tab. 1	9,6	43,2	0,22 : 1	40,00
12	$49^1/_2$	$51^1/_2$	0,96 : 1	5,01	15 Tab. 1	48	50,4	0,95 : 1	28,57
13	34	$38^1/_2$	0,88 : 1	7,14	22 Tab. 1	43,2	45,6	0,94 : 1	25,26
17	16	$53^1/_2$	0,29 : 1	10,94	5 Tab. 1	14,4	53,2	0,30 : 1	42,85
			Mittelwert: 7,10					Mittelwert: 30,91	

Es ergibt sich auch hier, daß die Sehnenverkürzung der Faser quantitativ ungenügend ist, um die bei der Antherenöffnung beobachtete Kontraktion der Zellen zu erklären. Dieses Ergebnis wird nicht verändert, wenn man nur jene Fasern und Zellen miteinander vergleicht, bei denen nicht nur die Verhältnisse Sehne : Pfeil-

höhe und Breite : Höhe, sondern auch die Werte für Sehne und Breite bezw. Pfeilhöhe und Höhe wenigstens annähernd übereinstimmen. Es sind dies die Fasern 2 und 23 bei *Tulipa*, 7, 12 und 17 bei *Lilium;* die mittlere Breiteverkürzung der entsprechenden Zellen ist 35,53 %, die Sehnenverkürzung der Fasern 8,23 %.

Die Faserschrumpfung allein vermag demnach nur eine Öffnungsbewegung hervorzurufen, welche etwa ein Viertel derjenigen ausmacht, die wir in der Natur beobachten.

Die Zahl der in Tabelle 39 miteinander zum Vergleich gelangten Fasern und Zellen ist nicht groß und es können sich deshalb durch eine Vermehrung der Versuche die Mittelwerte etwas verschieben. Doch sind die Unterschiede zwischen der Sehnenverkürzung der isolierten Fasern und der Breiteverkürzung der Zellen so bedeutend, daß auch die wenigen Zahlen der Tabelle 39 einen zuverlässigen Schluß gestatten.

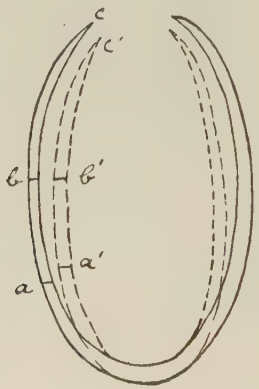

Fig. 2.

In bezug auf die Pfeilhöhe fällt sofort in die Augen, daß sie bei den einen Fasern sich verlängert, bei andern sich verkürzt, bei dritten endlich sich nicht verändert. Doch sind diese Unterschiede nicht willkürlich; es ergibt sich vielmehr aus den Tabellen die Regel, daß die kürzeren (abgebrochenen) Faserenden sich verlängern, die längeren sich verkürzen. Besonders deutlich zeigt sich dies in den Fasern 9 und 18 der Tabelle 38, wo jeweilen die Verkürzung des kürzeren, abgebrochenen Schenkels geringer ist, als die des längeren. Es tritt nach den Tabellen ein im Mittel

	bei *Tulipa*	*Lilium*	
Verlängerung bei einer Pfeilhöhe von	7,2	12,7	Teilstr.
Gleichbleiben der Länge bei einer Pfeilh. von	14	15	„
Verkürzung bei einer Pfeilhöhe von	22,8	35,7	„

Es hängt dies jedenfalls mit der stärkeren Krümmung der Fasern nach dem Austrocknen zusammen; hierdurch muß nämlich

der Punkt a (vergl. Fig. 2), welcher der Locularseite benachbart ist, in die Höhe gehoben werden, während der weiter entfernte Punkt b in demselben Niveau bleibt und c infolge der Krümmung der Faser nach unten rückt.

Im folgenden gebe ich zum Vergleich mit meinen Resultaten die Zahlen, welche Schneider für die hygroskopische Verkürzung der Sehne isolierter U-Fasern von *Tulipa* gefunden hat. Die Umrechnung in % habe ich vorgenommen, um den Mittelwert der Zahlen Schneider's mit dem von mir erhaltenen vergleichen zu können.

Tabelle 40. Isolierte U-Fasern von *Tulipa*.
(Nach Schneider.)

No. nach Schneider	In Wasser Sehnenlänge in μ	Trocken Sehnenlänge in μ	Verkürzg. in %
a) S. 59 $\beta-\delta$	49,200	45,510	7,50
$\alpha-\delta$	60,270	55,719	7,55
$\gamma-\delta$	27,060	25,092	7,27
b) S. 60	9,840	8,364	15,00
e) S. 61	38,765	34,440	11,18
h) S. 62	97,76	87,98	10,02
k) S. 62	37,146	34,758	6,43
		Mittelwert:	7,85

Der Mittelwert der Sehnenverkürzung nach Schneider (7,85 %) stimmt demnach ziemlich gut mit dem von mir ermittelten (8,9 %) überein.

3. Kapitel. Verhalten der dünnen Membranen bei Wasserverlust.

Ich verwendete isolierte von Fasern begrenzte Membranen; die Fasern waren entweder U-förmig oder dann bestanden sie aus zwei parallelen Stücken. Es erwies sich als notwendig, die dünnen Membranen in Verbindung mit Fasern zu belassen, weil sie sonst nicht gegen das Ankleben geschützt werden konnten. Dünne Membranen allein klebten immer am Objektträger und es gelang mir nicht, sie mit der Nadel loszulösen, ohne sie zu zerreißen. Waren sie aber wenigstens an zwei Seiten von Fasern begrenzt, so konnte ich in den meisten Fällen die angeklebten Membranen unverletzt wieder frei machen, indem ich die Nadel an die Fasern ansetzte und die dünne Membran gar nicht zu berühren brauchte.

Ich untersuchte dünne Membranen von *Lilium candidum* und *Tulipa Gesneriana* auf dieselbe Weise wie die Fasern (vergl. voriges Kapitel), indem ich auch hier immer die größte Entfernung der Fasern maß.

Tabelle 41 und 42. U-Fasern mit dünner Membran.

41. *Tulipa Gesneriana.*

No.	Sehne			Pfeilhöhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %	In Wasser	Trocken	± %
1.	4	2	50,00	37	36	— 2,73
2.	5	3	40,00	32	32	0,00
3.	11	6	45,45	26	25	— 3,85
4.	18	13	27,72	14	14	0,00
5.	9 3/4	5 1/2	43,69	27	26	— 3,70
6.	3 1/2	2	42,86	30	29	— 3,33
7.	3 1/2	2	42,86	20 1/2	20	— 2,44
8.	6 3/4	4 1/2	33,33	3 3/4	4	+ 6,67
9.	8	4 1/4	46,88	25	24	— 2,50
10.	5	2 1/4	55,00	18	17	— 5,56
11.	10	4 1/2	55,00			
12.	7	3 1/4	53,57	14 3/4	14	— 5,08
13.	6	3 3/4	37,50	21 1/2	20	— 6,97
14.	4	2 1/4	43,75			
15.	10	4 1/2	55,00	22	20 1/2	— 6,82
16.	4 1/4	2	52,94	24 1/2	23	— 6,12
17.	11	5 3/4	47,73	14	13 1/2	— 3,57
18.	10 1/2	6	42,86	—	—	—
19.	4 1/2	1 3/4	58,89	10	10 1/2	+ 5,00
20.	13 1/2	8	40,74	22	20 1/2	— 6,82
21.	6 1/4	3 3/4	40,00	—	—	—
22.	7 3/4	4 1/2	44,83	22	20 1/4	— 7,86

Mittelwert: 45,48

42. *Lilium candidum.*

No.	Sehne			Pfeilhöhe		
	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %	In Wasser	Trocken	± %
1.	7 3/4	4	48,39	27	25 1/2	— 5,56
2.	8	5	37,50	42	40	— 4,76
3.	6	3 1/2	41,67	40	38 1/2	— 3,75
4.	6 1/4	3 1/4	48,00	25 1/2	24 1/4	— 4,90
5.	9 1/2	6	36,84	18	17	— 5,56
6.	4 3/4	2 3/4	42,11	15	14 1/2	— 3,33
7.	5	2 1/2	50,00	28	26 1/2	— 5,36
8.	7 3/4	4 1/4	45,16	25 1/2	24	— 5,88
9.	3 3/4	2	46,67	—	—	—
10.	4 1/4	2 1/2	41,17	12	12	0.00
11.	7	4	42,86	16	15	— 6,25
12.	7 1/2	4 1/2	40,00	19	18	— 5,26
13.	4 1/4	1 3/4	55,56	18	17 1/2	— 2,78
14.	10	6	40,00	15	15	0,00
				47	45	— 4,26
15.	9	4	55,56	52	49	— 5,77
16.	7 1/4	3 3/4	48,27	35 1/2	34 1/4	— 3,55
17.	5 1/2	2 1/2	54,54	33	31 1/2	— 4,54
18.	11	5 1/4	52,27	42	40 1/4	— 4,17
19.	5	2 1/4	55,00	25 1/2	23 3/4	— 6,86
20.	7	3 1/4	53,57			
21.	8	3 3/4	53,12	66	62	— 6,06
22.	9 1/2	4 1/2	52,63	27	26	— 3,70
23.	4 1/4	2	53,53			

Mittelwert: 47,58

Tabelle 43 und 44. Dünne Membran zwischen zwei parallelen Fasern.

43. *Tulipa Gesneriana.*

No.	Quer zu den Fasern			Längs den Fasern		
	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %	In Wasser	Trocken	+ %
1.	7	4	42,96	—	—	—
2.	2	1	50,00	25	24	— 4,00
3.	8	3 1/2	55,25	19	19	0,00
4.	2	1 1/4	37,50	30	28 1/2	— 5,00
5.	3 1/2	2	42,86	31	30	— 3,22
6.	10	4 1/2	55,00	39	37	— 5,14
7.	11 1/2	5 1/2	50,41	42	40	— 4,76
8.	5	2 3/4	45,00	19	18 1/4	— 3,95
9.	4	2 1/2	38,50	20	19	— 5,00
10.	6	3 1/2	41,67	18	17	— 5,56
11.	4 3/4	2 3/4	42,11	23	22	— 4,35
12.	13	8 1/2	34,62	18	17	— 5,56
13.	2 1/2	1 1/4	50,00	18	17	— 5,56
14.	10	5 3/4	47.50	22	21	— 4,55
15.	10	4 1/2	55,00			
16.	5	3 1/4	35,00	21	20	— 4,73
17.	5	3	40,00			
18.	8	4 1/2	43,75	21 1/2	20	— 6,98
19.	9	5	44,44	23	21	— 8,69
20.	8 3/4	4 1/4	51,43	21 1/2	20	— 6,98

Mittelwert: 45,15

44. *Lilium candidum.*

No.	Quer zu den Fasern			Längs den Fasern		
	In Wasser	Trocken	Verkürzg. in %	In Wasser	Trocken	+ %
1.	6 1/2	3 1/2	46,15	28 1/2	27 1/2	— 3,51
2.	12	7	41,67	34	32 1/2	— 4,41
3.	10	5 3/4	42,50	26	24 1/2	— 5,77
4.	5 1/4	3	42,85	—	—	—
5.	5 1/2	2 1/2	54,54	—	—	—
6.	2 1/4	1 1/4	46,51	23	22	— 4,35
7.	12 1/2	6 1/4	51,02	21	20	— 4,76
8.	4 1/4	2	53,29	36	34 1/2	— 4,17
9.	6 1/2	3	53,84	39	37	— 5,13
10.	6	3	50,00	35 3/4	34	— 4,90
11.	4	2 1/4	43,75	26	25	— 3,85
12.	3 1/4	1 3/4	48,00	11	11	0,00
13.	4 1/4	2 1/2	41,17	22	21	— 4,54
14.	3 1/4	1 3/4	48,00	31	29 1/2	— 4,84
15.	3 3/4	2	46,67	16	15 1/4	— 4,75
16.	4 3/4	2 1/4	53,68	21 1/2	20	— 6,98
17.	5	2 3/4	45,00	22	21	— 4,54
18.	2 3/4	1 1/2	45,45	30	28	— 6,67
19.	6	2 3/4	54.17	—	—	—

Mittelwert: 47,80

Aus den Tabellen ergibt sich folgendes:

1. Die dünne Membran verkürzt sich quer zu den Fasern um rund 45 %; ihrer Schrumpfung ist somit eine ungleich größere Wirksamkeit zuzuschreiben, als derjenigen der Fasern, deren Sehne sich beim Austrocknen nur um etwa 9 % verkürzt.

2. Es ist demnach die hygroskopische Verkürzung der dünnen Membran etwa fünfmal stärker, als die Sehnenverkürzung der Fasern; auf ihr beruht in erster Linie die Öffnungsbewegung. Die Fasern wirken besonders im locularen Teil der Zelle, wo sie sich miteinander vereinigen, als Widerstand, da sie bei Wasserverlust ihre Form und Dimension nur wenig ändern.

3. In den Tabellen 41—44 sind die Membranen mit U-Fasern und die mit zwei parallelen Fasern getrennt behandelt. Bei jenen ist nämlich die Wirkung der im vorigen Kapitel festgestellten Hygroskopizität der Fasern beibehalten, während sie bei diesen ausgeschlossen ist, weil hier die Fasern nicht mehr miteinander in Verbindung stehen. Eine Vergleichung der Resultate in beiden

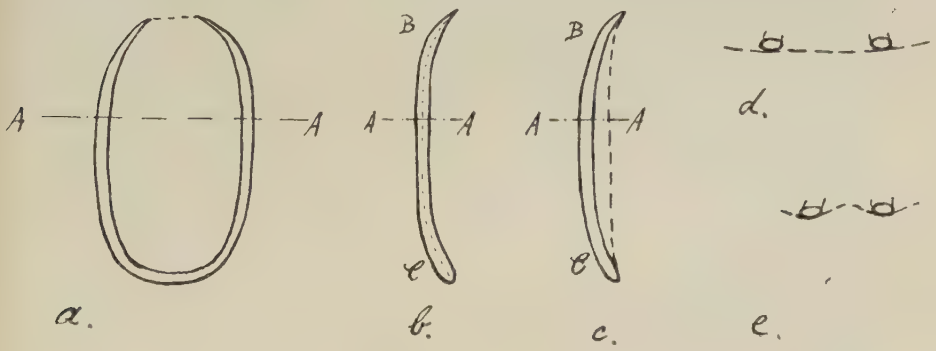

Fig. 3. Faser mit dünner Membran. *a* von vorn, *b* und *c* von der Seite: *b* im feuchten, *c* im trockenen Zustand, *d* und *e* Querschnitt, *A A*: *d* im feuchten, *c* im trockenen Zustand. Die dünne Membran ist gestrichelt.

Fällen ermöglicht die Entscheidung der Frage, ob die Sehnenverkürzung der Fasern in tangentialer Richtung diejenige der Membranen unterstützt. Es zeigt sich, daß eine solche Unterstützung nicht vorhanden ist; denn die Verkürzung der dünnen Membran quer zu den Fasern bleibt dieselbe, gleichviel, ob die Sehnenverkürzung der Fasern mitwirken kann oder ausgeschlossen ist.

4. Längs den Fasern stimmt die Verkürzung der dünnen Membran mit derjenigen der Faser überein. Wahrscheinlich ist auch hierbei die Verkürzung der dünnen Membran ausschlaggebend. In Figur 3 a—e ist eine dünne Faser mit dünner Membran im trockenen und feuchten Zustande dargestellt. Im feuchten Zustand verläuft die dünne Membran in annähernd derselben Richtung, wie die sie begrenzende Faser; sie ist demnach von der Seite gesehen ganz durch die Faser verdeckt (Fig. 3 b). Bei der hygroskopischen Verkürzung wird sich diese Richtung für jenen Teil des Präparates,

wo die Fasern annähernd gerade verlaufen (also in A), nicht ändern; Faser und dünne Membran laufen auch im trockenen Zustand, von der Seite gesehen, einander parallel. Anders wird sich dagegen die dünne Membran an jenen Stellen verhalten, wo die Fasern stärker gekrümmt sind, d. h. in B und C. Dort muß für die dünne Membran die Tendenz bestehen, sich in die kürzeste Richtung, also in die der Sehne, einzustellen. Die Folge davon ist, daß die dünne Membran sich nach innen einwölbt; ihr innerster Kontur bildet dann, von der Seite gesehen, die Sehne zum entsprechenden Bogen der Faser (Fig. 3c).

Auf diese Weise kann die dünne Membran auch in der Richtung der Zellhöhe aktiv wirken, indem sie die Punkte B und C einander zu nähern sucht. Der Querschnitt in A (Fig. 3d und e) zeigt dann trocken eine kleine Einfaltung der dünnen Membran, welche natürlich mit Kohäsion nichts zu tun hat. Derartige Falten an isolierten Zellen zu beobachten ist sehr schwierig, weil sich solche Zellen nicht leicht auf die Locularwand stellen und so betrachten lassen. Doch konnte ich wiederholt solche Falten sehen, wenn ich eine Gruppe von Faserzellen oder auch größere Bruchstücke von Klappen während des Austrocknens von der Fläche beobachtete; die betreffenden Falten zeigten sich dann bei randständigen Zellen an freiliegenden Teilen. — Demnach ist die dünne Membran auch in der Richtung der Höhe der Zellen aktiv. Die Verkürzung beträgt in dieser Richtung nur etwa 5 %; sie kommt für die Öffnung nicht in Betracht, weil diese Richtung mit der Dicke der Klappen zusammenfällt.

Nebenbei möge noch auf einen Umstand aufmerksam gemacht werden. Es zeigt sich hier, daß Bruchstücke von Zellen, die nur noch aus kleinen Teilen dünner Membran und Fasern bestehen, sich ebenso stark verkürzen wie intakte Zellen. Es ist dies eine Stütze für meine Beweisführung im 4. Kapitel des I. Teiles, welche das Verhalten dünner Querschnitte mit nur angeschnittenen Zellen zur Grundlage hat.

Es muß auffallen, daß die Verkürzung der isolierten dünnen Membranen die Breiteverkürzung der Zellen, die ich im 1. Kapitel des I. Teiles zu 30—35 % bestimmt habe, bedeutend übertrifft. Doch ist in Betracht zu ziehen, daß die Breiteverkürzung der Zellen sich zusammensetzt aus der Kontraktion der dünnen Membran und derjenigen der Fasern parallel der dünnen Membran; die erstere beträgt ca. 45 %, die letztere (lt. Tab. 35a) ca. 15 %. Setzt man nun, wie dies etwa den tatsächlichen Verhältnissen entspricht, das Mengenverhältnis zwischen Fasern und dünner Membran = 1 : 2, so ist die prozentuale Gesamtverkürzung $= \frac{15 + 2 \cdot 45}{3}$ % = 35 %, also vom Resultate des 1. Kapitels des 1. Teiles nur unwesentlich verschieden.

Zum Vergleich mit meiner Tabelle 42 gebe ich hier die entsprechenden Zahlen, welche Schneider für die Verkürzung der dünnen Membran quer zu den Fasern erhalten hat.

Tabelle 45.
Isolierte dünne Membran von *Tulipa*. (Nach Schneider.)

No. nach Schneider	In Wasser Breite quer zur Faser in μ	Trocken Breite quer zur Faser in μ	Verkürzung in %
d) S. 68	95,3	84,1	11,77
e) S. 68, c–d	2,46	2,214	10,00
a–b	9,48	7,13	27,54
		8,61	12,48
h) S. 69	3,4	3	11,77
i) S. 70	15,275	12,220	20,00
k) S. 70	9,963	8,610	13,52

Mittelwert: 15,30

Nach Schneider ist also die Schrumpfung der dünnen Membran doppelt so groß, als die entsprechende der Fasern, so daß seine Ergebnisse prinzipiell (qualitativ) mit den meinigen übereinstimmen. Auffallend ist freilich der große quantitative Unterschied zwischen der von Schneider ermittelten Schrumpfung der dünnen Membran (15 %) und meinem bezüglichen Mittelwert (45 %). Worauf dies zurückzuführen ist, vermag ich mit Bestimmtheit nicht anzugeben; doch dürfte der Grund wohl darin liegen, daß Schneider Membranen untersuchte, die entweder gar keine Faser mehr oder dann nur ein einzelnes Stück einer solchen besaßen. Bei solchen Membranen ein Ankleben und Verkrümmen zu verhindern, dürfte äußerst schwierig sein. Mir wenigstens gelang dies nie und ich verwendete deshalb nur Membranen mit zwei parallelen Fasern, welche einen Angriffspunkt für die Nadel bieten.

4. Kapitel. Erklärung einiger Beobachtungen auf Grund der Resultate des 2. und 3. Kapitels.

Es soll im folgenden versucht werden, auf Grund der ermittelten Tatsache, daß die Breiteverkürzung der dünnen Membran etwa fünfmal größer ist, als die Sehnenverkürzung der Fasern, zwei im 1. Kapitel des ersten Teiles mitgeteilte Beobachtungen zu erklären. Es sind folgende:

1. Zellen, welche nicht mehr ihre vollständige Breite besitzen, zeigen in der Breite eine stärkere Verkürzung als ganze Zellen;

2. Die Zellen verkürzen sich relativ umso stärker, je höher sie im Verhältnis zu ihrer Breite sind.

Ad 1. Es ist klar, daß diese Verkürzung nur größer scheint, denn es ist nicht einzusehen, wie die Kontraktionsfähigkeit der Membran durch das Zerreißen sollte zugenommen haben.

Zur Erklärung dienen die beigegebenen schematischen Figuren, bei welchen der Querschnitt der Zelle als reguläres Sechseck angenommen ist und welche eine Projektion auf die Locularwand darstellen. Die einfachen ausgezogenen Linien sind dünne Membranen, die doppelten = Fasern; letztere sind ver-

hältnismäßig viel zu dünn gezeichnet. Die Zellen sollen jeweilen mit der Fläche A B bezw. A_1 B_1 dem Objektträger aufliegen; ihre im Mikroskop erscheinende Breite läßt sich dann darstellen durch die beigefügte Projektion auf eine zu A B parallele Gerade.

Fig. 4a stelle eine unverletzte Zelle im wasserdurchtränkten Zustande dar und zwar an der Stelle ihrer größten Breite, weil sich hierauf auch alle früheren Messungen beziehen; ihre Breitekontraktion, die sich aus der der dünnen Membran (= 45 %) plus der der Fasern (= 15 %, vergl. Tab. 35a) zusammensetzt, sei zu 33 % angenommen. Da die Zelle unverletzt ist, wirkt die Kontraktion überall gleichmäßig; auch in der Projektion tritt ebenfalls eine Verkürzung ein um 33 %, denn

$$\left.\begin{aligned} F'C' \text{ in Fig. 4a} &= F'A' + A'B' + B'C' \\ &= {}^1/_2\, r + r + {}^1/_2\, r = 2\, r \\ F_1'C_1' \text{ in Fig. 4b} &= F_1'A_1' + A_1'B_1' + \\ B_1'C_1' &= {}^1/_3\, r + {}^2/_3\, r + {}^1/_3\, r = {}^4/_3\, r \end{aligned}\right\} \text{Verkürzung} = 33{,}33\ \%$$

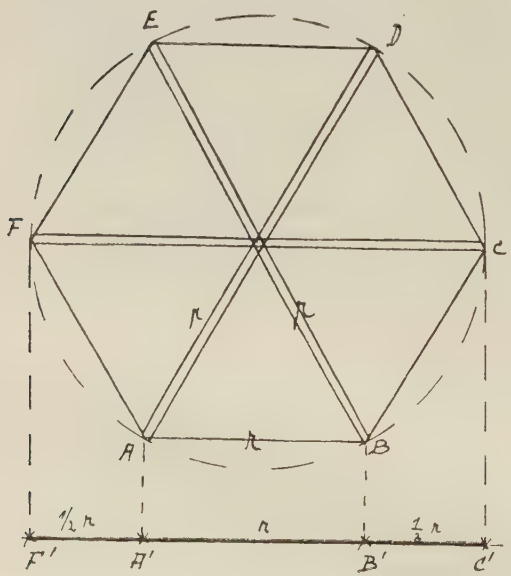

Fig. 4a.

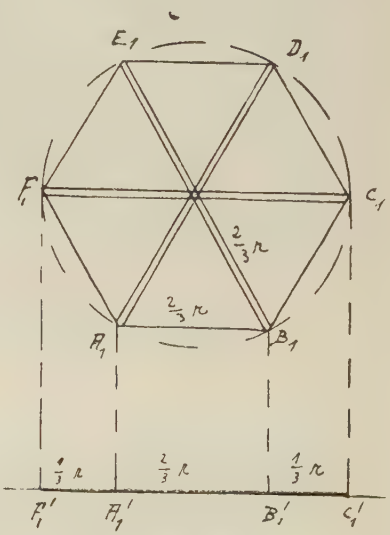

Fig. 4b.

Anders verhält es sich, wenn die Zelle nicht mehr ihre ursprüngliche Breite besitzt. Fig. 5a stellt eine Zelle dar, welche durch die Präparation die Membranen B C und C D, sowie ein entsprechendes Stück der Faser M C verloren hat. Dadurch fällt nun die Kraft weg, welche in der intakten Zelle die Fasern M D und M B in der Richtung D C B einander nähert und diese Fasern verkürzen deshalb ihre Sehne nur nach Maßgabe ihrer Eigenschrumpfung, welche ich der Einfachheit halber nach den Tabellen 37 und 38 — rund 10 % setze. In der Figur 5b sind deshalb diese Fasern auf

$^9/_{10}$ verkürzt. Die Membranen verkürzen sich normal, sind also in Fig. 5b sämtlich $^2/_3\ r$ gezeichnet.

Ebenso werde die Sehnenverkürzung der Fasern M E, M F, M A durch die noch vorhandenen Membranen zu $^1/_3$ angenommen. In der Zeichnung setze ich der Einfachheit halber voraus, daß der Punkt M seine Lage und die Faser M F ihre Richtung nicht ändere. Die Figur 5b veranschaulicht dann die Form der Zelle nach der Verkürzung.

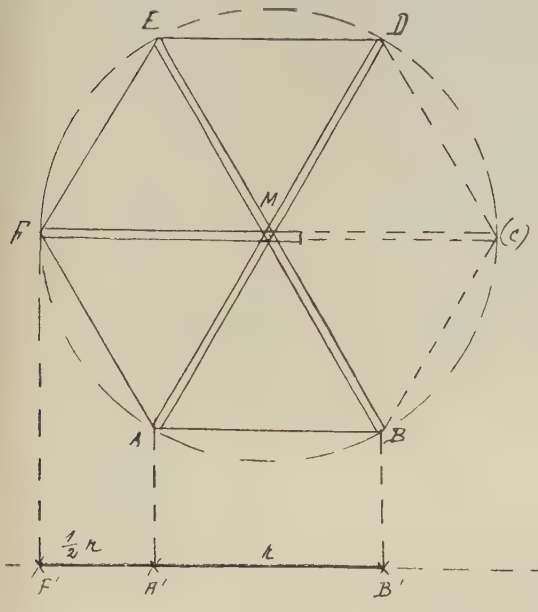

Fig. 5a.

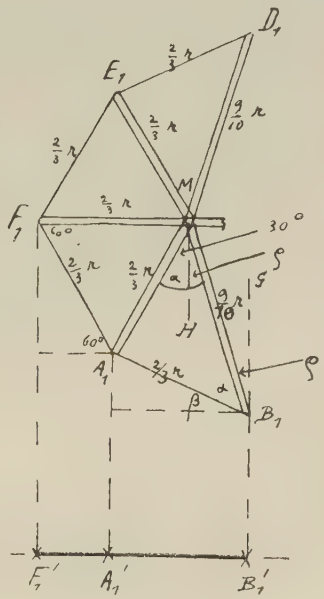

Fig. 5b.

Die Horizontalprojektion berechnet sich wie folgt:

Fig. 5a: $F'B' = F'A' + A'B' = r + {}^1/_2\ r = 1{,}5\ r$

Fig. 5b: $F_1'B_1' = F_1'A_1 + A_1'B_1'$

$F_1'A_1' = {}^2/_3\ r \cos 60^0 = {}^1/_3\ r = 0{,}333\ r$

$A_1'B_1' = {}^2/_3\ r \cos\beta$. Nach dem Kosinussatz ist

$$\cos\alpha = \frac{({}^2/_3\ r)^2 + ({}^9/_{10}\ r)^2 - ({}^2/_3\ r)^2}{2 \cdot {}^2/_3\ r \cdot {}^9/_{10}\ r} = \frac{81}{100} : \frac{12}{10} = \frac{81}{100} \cdot \frac{10}{12} = \frac{27}{40}$$

$\alpha = 47^0\,32'\,40''$ $\quad \varrho = \alpha - 30^0 = 17^0\,32'\,40''$

$\beta = 90^0 - \alpha - \varrho = 90^0 - 65^0\,5'\,20'' = 24^0\,54'\,40''$

$A_1'B_1' = {}^2/_3\ r \cos 24^0\,54'\,40'' = 0{,}67 \cdot 0{,}907\ r = 0{,}607\ r$

$F_1'B_1' = 0{,}333\ r + 0{,}607\ r = \mathbf{0{,}94}\ r$

Die scheinbare Verkürzung verletzter Zellen ist demnach $1{,}5 - 0{,}94 = 0{,}56$, d. h. 37,33 %, während sie bei unverletzten Zellen unter denselben Bedingungen nur 33,33 % beträgt. Dieser

Befund stimmt mit den Messungen an isolierten Zellen völlig überein; so ist nach Tabelle 11 z. B. für *Lilium Martagon* die mittlere Verkürzung unverletzter Zellen 33,40 %, diejenige der verletzten 38,61 %.

Hierher gehört auch die Beobachtung, die ich wiederholt zu machen Gelegenheit hatte bei Zellen, die zwar ihre ursprüngliche

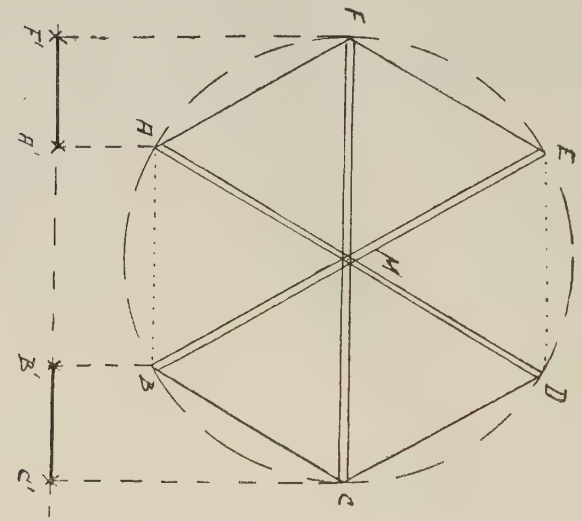

Fig. 6a.

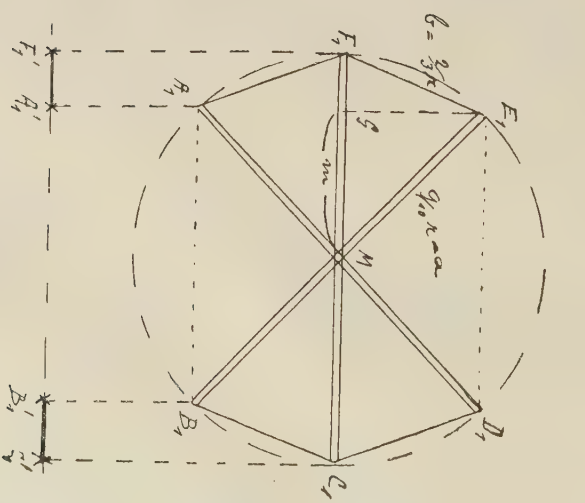

Fig. 6b.

Breite noch besaßen, bei denen aber die dünne Membran zwischen zwei gegenüberliegenden Fasern zerrissen war, wie die Fig. 6a darstellt. Der Abstand dieser Fasern war nach dem Austrocknen größer, während die intakt gebliebenen Membranteile stärker verkürzt erschienen. Auch dieses Verhalten erklärt sich ohne weiteres aus der größeren Schrumpfung der dünneren Membran.

In Fig. 6a seien die Membranen A B und D E zerrissen; die Projektion des entsprechenden Abstandes der Fasern im wasserdurchtränkten Zustand ist $A'B' = r$. Die Kraft, welche die Sehne der Faser F C über rund 10 % hinaus kontrahiert, ist aufgehoben; F C ist deshalb in Fig. 6b nur um 10 % kürzer gezeichnet. Da sich aber die noch vorhandenen Membranen tangential um 33,33 % verkürzen, müssen, weil die Punkte F_1 und C_1 (Fig. 6b) sich nicht mehr nähern, die Abstände A B und D E sich vergrößern. Unter den angegebenen Bedingungen erhält man (Fig. 6b):

$$\overline{E_1 G}^2 = \overline{E_1 M}^2 - \overline{G M}^2 = \overline{E_1 F_1}^2 - \overline{G F_1}^2$$

$$a^2 - m^2 = b^2 - (a-m)^2 = b^2 - a^2 + 2 a m - m^2$$

$$G M = m = \frac{2 a^2 - b^2}{2 a}$$

$$G M = \frac{r^2 \left(2 \cdot \frac{81}{100} - \frac{4}{9}\right)}{r \cdot 2 \cdot \frac{9}{10}} = \left(\frac{81}{50} - \frac{4}{9}\right) \cdot \frac{5}{9} \cdot r = \frac{529}{810} r = 0{,}653\, r$$

Der Abstand A B = 1 ist also nach der Verkürzung = 1,306; er ist um 30 % größer geworden. So erklären sich ohne weiteres die in Frage stehenden wiederholten Beobachtungen, über welche ich im I. Teile (S. 16) berichtete.

Ad 2. Es ist klar, daß der Widerstand, welchen die Fasern leisten, bei den Griff-, Stuhl- und Bankzellen an der Locularwand am größten ist, weil dort die Fasern zu einer mehr oder weniger großen Platte zusammenschließen. Die im 1. Kapitel untersuchten Zellen gehören ausnahmslos zu den Griffzellen und ich habe im 1. Kapitel des I. Teiles nachgewiesen, daß die relativ höheren Zellen sich auch relativ stärker kontrahieren. Es soll hier eine Erklärung dieses Verhaltens versucht werden.

Fassen wir eine tangentiale U-Faser mit dünner Membran ins Auge, so ist klar, daß die Sehnenverkürzung umso größer sein muß, je länger die Schenkel sind; denn die Schenkel wirken wie Hebelarme, deren Drehpunkt in der Nähe des Bodens der U-Faser liegt.

Zu demselben Resultate gelangt man, wenn man, in Übereinstimmung mit den tatsächlichen Verhältnissen, die Locularwand der Faserzellen als Widerstand, ihre Seitenwand dagegen als Kraft auffaßt. Um dies zahlenmäßig nachzuprüfen, betrachte ich die Faserzellen als Zylinder; der Boden bedeutet den Widerstand, der Mantel die Kraft. Die obere Kreisfläche des Zylinders, welche der Epidermalwand entspricht, kann vernachlässigt werden, trotzdem sich die Epidermalwand ebenso stark verkürzt, wie die Seitenwand. Doch dürfte diese Verkürzung kaum aktiv an der Öffnung beteiligt sein; denn ich konnte an isolierten Zellen wiederholt beobachten, daß die Kontraktion dieselbe blieb, auch wenn die Epidermalwand durch die Präparation verletzt oder entfernt war. — Der Umstand, daß auch Fasern über den Mantel verlaufen, hindert nicht, ihn als Repräsentanten der Kraft aufzufassen, weil ja auch die Fasern in der Richtung der Membran sich verkürzen.

Unter Bezugnahme auf Tabelle 18 läßt sich nun das Verhältnis zwischen Widerstand (= W) und Kraft (= K) für die verschiedenen Grade der Breiteverkürzung berechnen: W = Boden $= r^2 \pi$; wobei r = halbe relative Breite der Zellen; K = Mantel $= 2 r \pi$ h oder, da h (Höhe der Zellen) in Tabelle 18 immer gleich 1 gesetzt ist, K $= 2 r \pi$.

Tabelle 46.

	Breiteverkürzung bis 30 Proz.				Breiteverkürzung 30—40 Proz.				Breiteverkürzung über 40 Proz.			
	Verhältnis von Breite zu Höhe	Boden (= W) $r^2 \pi$	Mantel (= K) $2 r \pi$ [. h]	Verhältnis von W : K	Verhältnis von Breite zu Höhe	Boden (= W) $r^2 \pi$	Mantel (= K) $2 r \pi$	Verhältnis von W : K	Verhältnis von Breite zu Höhe	Boden (= W) $r^2 \pi$	Mantel (= K) $2 r \pi$	Verhältnis von W : K
Lilium cand.	0,73 : 1	0,13 π	0,73 π	1 : 5,62	0,63 : 1	0,10 π	0,63 π	1 : 6,30	0,49 : 1	0.06 π	0,49 π	1 : 8,15
Lil. Martag.	0,75 : 1	0,14 π	0,75 π	1 : 5,36	0,68 : 1	0,12 π	0,68 π	1 : 5,67	0,63 : 1	0,10 π	0,63 π	1 : 6,30
Tulipa Gesn.	1,22 : 1	0,37 π	1,22 π	1 : 3.29	1 : 1	0,25 π	π	1 : 4,00	0,94 : 1	0,22 π	0,94 π	1 : 4,22
Passifl. coer.	0,96 : 1	0,23 π	0,96 π	1 : 4,17	0,84 : 1	0,17 π	0,84 π	1 : 4,71	0,77 ; 1	0,15 π	0,77 π	1 : 5,13
Hemer. flava	0,88 : 1	0,18 π	0,88 π	1 : 4,63	0,84 : 1	0,17 π	0,84 π	1 : 4,71	0,63 : 1	0,10 π	0,63 π	1 : 6,30
		Mittelwerte: 1 : 4,61						1 : 5,08				1 : 6,52

Es ergibt sich somit, daß mit abnehmender relativer Breite der Zellen auch das Verhältnis von Kraft zu Widerstand für die erstere günstiger wird, woraus sich die beobachtete und in den Tabellen 13—18 zahlenmäßig belegte Tatsache erklärt, daß die Zellen umso weniger sich verkürzen, je breiter sie im Verhältnis zu ihrer Höhe sind. So war für die Zellen, die sich weniger als 30 % verkürzten, das Verhältnis Widerstand zu Kraft = 1 : 4,61; für jene dagegen, deren Breitekontraktion über 40 % betrug = 1 : 6,52.

5. Kapitel. Beziehungen zwischem dem Bau der Antherenklappen und ihrer Funktion beim Öffnungsvorgang.

Der im obigen dargelegte Verlauf der hygroskopischen Öffnung der Antheren, wobei die dünnen Membranen als in erster Linie wirksame Kraft, die Fasern besonders im locularen Teil als Widerstand zusammenwirken, gilt vor allem für Griffzellen, da ja die untersuchten Zellen ausschließlich solche waren. Ihnen reihen sich die Bank- und Stuhlzellen an; bei allen drei Typen der Ausbildung vereinigen sich die Fasern auf der Locularseite zu einem festen Widerlager.

Wie es sich mit den Ring- und Schraubenzellen verhält, habe ich nicht untersucht. Tatsächlich erscheint bei diesen Zellen, sofern die hygroskopische Öffnung bei ihnen auf demselben Prinzip beruhen soll, wie bei den Griffzellen, die Anordnung der verdickten Teile für eine ausgiebige Öffnungsbewegung bedeutend weniger günstig, als bei diesen. Es ist nun auch wirklich die Öffnung und Verkürzung, z. B. der *Iris*-Antheren, durchaus nicht so charakteristisch und weitgehend, wie etwa bei *Tulipa* und *Lilium*; sie dürfte auf einem Zusammenwirken der einzelnen Faserzellschichten beruhen; denn alle angeführten Beispiele von Antheren mit Ring-

und Schraubenzellen haben mehrere Schichten von Faserzellen. Colling fand bei den 9 von ihm untersuchten Antheren, deren Endothecium aus nur einer Schicht von Ring- oder Schraubenzellen besteht, beim Austrocknen keine „Biegung“ weder der einzelnen Zellen noch der ganzen Klappe (Colling, S. 33). Eine geringe Biegung wies dagegen *Duchesnia indica* auf, die ebenfalls eine einzige Schicht von Schraubenzellen besitzt; doch sind bei ihr die Windungen vielfach unterbrochen und zwar auf der Epidermalwand öfter, als auf der Locularwand. — Im übrigen bedarf der Öffnungsmechanismus der Antheren mit Ring- und Schraubenzellen noch spezieller, eingehender Studien.

Einfacher sind die Verhältnisse bei den Griffzellen und überhaupt bei denjenigen Zellen, deren Fasern sich auf der Lokularwand fest verbinden. Dieser Typus ist auch der bei weitem häufigste; so fand Kuhn (1898, S. 67), der die Endothecien von 764 Arten untersuchte,

Griffzellen bei 299 Arten = 45,5 %	} 61,2 %	
Bankzellen bei 103 Arten = 15,7 %		
Ringfasern bei 149 Arten = 22,7 %	} 38,8 %	
U-Klammern bei 47 Arten = 7,2 %		
Spiralfasern bei 37 Arten = 5,6 %		
Netzfasern bei 22 Arten = 3,3 %		

Bei 61,2 % aller von Kuhn untersuchten Arten bilden die Fasern auf der Locularwand ein festes Widerlager; unter diesen sind die Griffzellen der weitaus häufigste Typus.

Die von mir untersuchten Griffzellen zeigen weitgehende Übereinstimmung in der Anordnung und Ausbildung der Zellteile mit ihrer jeweiligen Funktion. Besonders deutlich zeigt sich dies im physikalischen Verhalten der Fasern; die Unterschiede der durch die Schrumpfung hervorgerufenen Veränderung ihrer Form in den einzelnen Richtungen sind der Funktion der Fasern beim Öffnungsvorgang gut angepaßt. So ist die Schrumpfung in den Locularpartien gering und nimmt gegen die Epidermis hin zu. Zweckmäßig sind auch die Unterschiede in der Quellbarkeit in Rücksicht auf den Querschnitt der Fasern. Sie ist gegen das Zellinnere hin größer als außen, so daß die Fasern eine Eigenbewegung im Sinne der Öffnung ausführen, welche etwa ein Viertel der gesamten Öffnungsbewegung ausmacht. Außerdem kontrahieren sich die Fasern um einen nicht unbedeutenden Betrag (15 %) in derjenigen Richtung, in welcher die Schrumpfung der dünnen Membran verläuft, so daß sie diese unterstützen. Dagegen erfolgt die Zunahme der Faserdicke beim Austrocknen in der Richtung des Zellradius nach innen, so daß durch sie die Öffnungsbewegung nicht gehindert ist.

Außer im Bau der einzelnen Zellen finden sich auch in ihrer Anordnung Verhältnisse, die sich, in Rücksicht auf die Funktion, gut verstehen lassen. Ich habe bereits im 1. Kapitel des I. Teiles darauf hingewiesen, daß die relativ höheren Zellen, denen auch

ein stärkeres Kontraktionsvermögen zukommt, gegen das Konnektiv zu häufiger werden. Es bietet Interesse, die Arbeit Kuhns durchzusehen, ob nicht ähnliche Verhältnisse bei andern Antheren sich finden. Kuhn hatte keine Veranlassung, auf diesen Umstand näher einzugehen; um so interessanter ist es, daß er bei einer Reihe von Antheren das Zunehmen der relativ hohen Zellen gegen das Konnektiv konstatiert, so bei den *Berberidaceae* (S. 20), *Magnoliaceae* (S. 21), *Connaraceae* (S. 27), *Melianthaceae* (S. 33), *Turneraceae* (S. 38), *Oliniaceae* (S. 39), *Erythraea Centaurium* (S. 50), *Monechma arenicola* (S. 60). Doch hat Kuhn auch Antheren gefunden, bei welchen die Zellen gegen das Konnektiv hin breiter werden, so *Garrya laurifolia* (S. 43), *Armeria elongata* und *Ceratostigma plumbaginoides* (S. 45). Doch ist das erste Verhältnis jedenfalls ungleich häufiger und darf wohl als ein ziemlich allgemein verbreitetes Bauprinzip angesehen werden. Hierdurch wird gerade gegen das Konnektiv zu die Aktivität gesteigert und die Öffnungsbewegung entsprechend gefördert.

Bei Klappen, welche aus mehreren Schichten von Faserzellen bestehen, ist auffallend, daß die Zellen in den einzelnen Schichten um so niedriger werden, je weiter die Schichten von der Epidermis abstehen. Colling, der als erster auf diesen Umstand aufmerksam macht, bemerkt (S 48): „Gewöhnlich sind die Zellen der inneren Schicht kleiner, als die der äußeren, behalten aber dieselbe Zahl der Fasern. Dadurch wird offenbar für eine gleichlange Strecke der Antherenwand die Faserzahl der Innenschicht größer, als die der Außenschicht, da ja auf jener Strecke eine größere Anzahl der kleineren Zellen Platz hat. In den Wänden der Außenschicht ist also mehr kontraktionsfähige Membran, als in der der innern, was eben ein Auswärtsbiegen der Klappen im Gefolge hat.“ Colling geht hier von der Ansicht aus, daß den Fasern keine Eigenschrumpfung zukomme. Es hat sich gezeigt, daß dies nicht zutrifft; doch ist die Schrumpfung der Fasern in der zur Zelle tangentialen Richtung etwa dreimal kleiner, als die der dünnen Membran selbst, so daß der Ansicht Collings eine gewisse Berechtigung zukommt, da die Menge der weniger kontraktilen Wandsubstanz in den inneren Faserzellschichten größer ist, als in den äußeren.

Ein zweiter Grund, weshalb sich die innere Schicht (im Interesse einer möglichst ausgiebigen Öffnungsbewegung) weniger stark kontrahiert als die äußere, liegt darin, daß sie (abgesehen von den Ring- und Schraubenzellen) an die den Widerstand darstellende, erheblich verdickte Locularwand der weiter außen liegenden Schicht angrenzt. So wird die innere Schicht durch die äußere an der Kontraktion gehindert.

Damit ist aber ein Vorteil im Sinne der Öffnung noch nicht erreicht, denn die Locularwand der äußersten Schicht muß dann ein Widerlager bilden nicht bloß gegen die Kontraktion der eigenen dünnen Membran, sondern auch gegen die der unter ihr liegenden Schichten. Einen Vorteil bietet die Mehrschichtigkeit nur dann,

wenn die inneren Schichten an sich weniger sich kontrahieren als die äußeren.

Einen Grund, weshalb dieses letzte tatsächlich zutrifft, hat Colling namhaft gemacht; ein anderer Grund liegt darin, daß die Zellen nach innen kleiner werden, aber nicht gleichmäßig in allen Dimensionen, sondern in der Höhe mehr, als in der Breite; wenigstens läßt sich dies bei *Tulipa* ohne Mühe konstatieren. Als Beleg benütze ich die Zahlenangaben Schneiders, welcher die Zelldimensionen in den einzelnen Schichten gemessen hat (S. 15). Er fand in der mehrschichtigen Partie, die sich bei *Tulipa* regelmäßig in der Nähe der Naht findet, von außen nach innen in der

1. Schicht: Zellbreite = 62 μ,	Zellhöhe = 55 μ;	Breite : Höhe	= 1,13 : 1
2.	73	54	1,35 : 1
3.	67	43	1,56 : 1
4.	85	38	2,23 : 1
5.	54	31	1,74 : 1

Das Verhältnis Breite : Höhe nimmt also nach innen zugunsten der Breite regelmäßig zu.

Eine andere Angabe Schneiders betrifft Zellen einer normalen Doppelschicht; *a, b, c* liegen neben einander; *a* hinter *a*, *b* hinter *b*, *c* hinter *c*.

	Zelle:	breit:	hoch:	Breite : Höhe	
Äußere Schicht	a	77 μ	56 μ	1,36 : 1	Mittleres Verhältnis 1,29 : 1
	b	80 μ	56 μ	1,41 : 1	
	c	74 μ	68 μ	1,09 : 1	
Innere Schicht	a	51 μ	40 μ	1,28 : 2	Mittleres Verhältnis 1,52 : 1
	b	67 μ	29 μ	2,46 : 1	
	c	24 μ	29 μ	0,83 : 1	

Es nimmt also auch hier in der inneren Schicht im Vergleich zur äußern die Breite im Verhältnis zur Höhe der Zelle zu, wodurch, wie ich im 1. Kapitel des I. Teiles konstatiert und im 4. Kapitel des II. Teiles begründet habe, die Aktivität abgenommen hat. Daß hierdurch das Zurückschlagen der Klappe begünstigt wird, ist selbstverständlich.

Das Prinzip, relativ weniger hohe Zellen in den innern Schichten auszubilden, ist nun bei den Antheren sehr verbreitet. Colling (S. 48) fand es bei *Gladiolus, Tulipa Gesneriana, Thylachium panduriforme, Vanda tricolor var. suavis, Colchicum autumnale, Hedychium flavescens;* Kuhn bei *Butomus umbellatus* (S. 4), *Maximiliana catalina* (S. 6), *Calectasia cyanea* (S. 10 und Fig. 5d, S. 8), *Alpinia nutans* (S. 12), *Moringa pterygosperma* (S. 24), bei den 8 untersuchten Arten der Gattung *Chironia* (S. 48 mit Fig. 28B), *Lisianthus ovalis* (S. 49), *Exacum bicolor* (S. 49), *Cobea scandens* (S. 52), *Physalis Alkekengi* (S. 56).

Zusammenfassung der wichtigsten Resultate.

I. Über die Grösse des Kohäsionszuges des Füllwassers und der Hygroskopizität der Zellwände in den Faserzellen von Antheren.

1. Die definitive Verkürzung isolierter Zellen und entsprechend auch die Öffnung der Antheren beruht auf Schrumpfung und nicht auf Kohäsion; die Leistungsfähigkeit der letzteren ist zu gering, um die Öffnung zu verursachen, und sie ist vor allem nicht notwendig. (1. Kapitel.)
2. Aus der Prüfung des Luftgehaltes der Antheren während der verschiedenen Stadien der Öffnung ergibt sich, daß eine nennenswerte Beteiligung der Kohäsion an der Öffnungsbewegung nur denkbar ist bis zur Geradstreckung der Klappen; nachher überwiegt die Schrumpfung an Leistungsfähigkeit. (2. Kapitel.)
3. Kohäsionsfalten kommen nicht vor; vorhandene Falten sind unabhängig von jedem Wasserverlust entstanden und zwar durch abnormale Ausbildung von Fasern. (3. Kapitel.)
4. Dünne Querschnitte mit nur angeschnittenen Zellen öffnen sich beim Austrocknen normal, wenn Membranen parallel zur Schnittrichtung in genügender Anzahl vorhanden sind. (4. Kapitel.)
5. Bei Ausschaltung der Kohäsion durch Unterbrechung des Schließprozesses wird die Öffnung nicht gehindert. (5. Kapitel.)
6. Die Vakuummethode Steinbrincks und die Methode der Öffnung durch wasserentziehende Lösungen (Hannig) sind zur Feststellung eines Kohäsionsmechanismus nicht geeignet. (6. und 7. Kapitel.)

II. Über den hygroskopischen Öffnungsmechanismus der Antheren.

1. Veränderungen des Volumens der Fasern beim Austrocknen (2. Kapitel):
   a) im Querschnitt:
      α) parallel der dünnen Membran: Verkürzung um ca. 15 %;
      β) senkrecht zur dünnen Membran: Verdickung um ca. 25 %;
   b) in der Länge (Fasern U-förmig gekrümmt):
      α) Sehne: Verkürzung um ca. 10 %:
      β) Pfeilhöhe: Verlängerung in dem der Locularwand angrenzenden Drittel; weiter gegen die Epidermis zu Verkürzung; im ganzen eine Verkürzung um ca. 5 %.
2. Schrumpfung der dünnen Membran (3. Kapitel):
   a) quer zu den Fasern = 45 %;
   b) längs den Fasern übereinstimmend mit der der Fasern (siehe oben bβ).

   Die Verkürzung quer zu den Fasern ist dieselbe, ob diejenige der Fasern (siehe oben bα) mitwirkt oder nicht.

3. Demnach sind die dünnen Membranen fünfmal stärker aktiv als die Fasern, und ihnen ist in erster Linie die Öffnung zuzuschreiben; die Fasern wirken besonders an der Locularwand als Widerstand.

4. Aus den hier angegebenen Zahlenwerten für die Kontraktion der dünnen Membran und der Fasern erklären sich folgende Beobachtungen an Griffzellen (4. Kapitel):
   a) Zellen, welche nicht mehr ihre vollständige Breite besitzen, sowie solche mit einem Riß parallel zu den Fasern, zeigen eine stärkere Verkürzung (scheinbar), als ganze Zellen.
   b) die Zellen verkürzen sich um so stärker, je höher sie im Verhältnis zu ihrer Breite sind.

5. Beziehungen zwischen dem Bau der Antherenklappen und ihrer Funktion beim Öffnungsvorgang (5. Kapitel).
   a) Der Bau der einzelnen Zellen zeigt günstige Verhältnisse für die Öffnung durch
      α) die Quellungsunterschiede zwischen der dünnen Membran und den Fasern bes. im localen Teile;
      β) die Quellungsunterschiede in den Fasern selbst in den verschiedenen Richtungen;
   b) ebenso die Anordnung der Faserzellen in der Klappe:
      α) die Zahl der relativ hohen Zellen nimmt gegen das Konnektiv hin zu;
      β) in mehrschichtigen Klappen sind die Zellen der inneren Schichten absolut und relativ weniger hoch, als die der äußern.

6. Auf die unter 3. angegebene Weise läßt sich die Öffnung aller Antheren erklären, deren Fasern auf der Locularseite zu einem festen Widerlager sich vereinigen. Die Öffnung jener Antheren, bei denen dies nicht zutrifft (Ring- und Schraubenzellen, Zellen mit U-Klammern usw.), geht vielleicht nach denselben Hauptzügen vor sich; doch müssen dabei noch andere Ursachen mitwirken, welche spezieller Untersuchungen bedürfen. Dasselbe gilt für die poriciden Antheren.

Die vorliegende Arbeit wurde in den Jahren 1911 und 1912 im botanischen Institut der Universität Freiburg (Schweiz) ausgeführt. Dem Vorsteher des genannten Institutes, Prof. Ursprung, welcher mich zu dieser Arbeit anregte und ihrem Fortgang lebhaftes Interesse und bereitwillige Unterstützung entgegenbrachte, bin ich zu großem Danke verpflichtet.

Literaturübersicht.

a) Originalarbeiten.

1808.

Mirbel, Observation sur un système d'anatomie comparée des végétaux, fondé sur l'organisation de la fleur. (Mémoires de la classe des sciences math. et phys. de l'Institut de France.)

1830.

Purkinje, J. E., De cellulis antherarum fibrosis nec non de granorum pollinarum formis commentatio phytotomica. Vratislaviae.

Mohl, H. v., Über die fibrösen Zellen der Antheren. (Flora. Ein Auszug aus dieser Arbeit findet sich in H. v. Mohl, Vermischte Schriften botanischen Inhalts. Tübingen 1845. S. 64 ff.)

1835.

Mirbel, Complément des observations sur le marchantia polymorpha suivi de recherches sur les métamorphoses des utricules et sur l'origine, les developpements et la structure de l'anthère et du pollen des végétaux phanérogames. (Mémoires de l'Institut de France. XIII.)

1870.

Chatin, A., Causes de la déhiscence des anthères. (Comptes rendus de l'Academie des Sciences. Tome 70.)

— De l'anthère, recherches sur le developpement, la structure et les fonctions de ses tissus. Paris.

1879.

Prantl, K., Die Mechanik des Ringes am Farnsporangium. (Tageblatt der Naturforscherversammlung zu Baden-Baden. S. 213 ff. Unverändert abgedruckt in Justs Botan. Jahresbericht. VII. Abt. 1. S. 417 f.)

Reinke, J., Untersuchungen über die Quellung einiger vegetabilischer Substanzen. (Hansteins botan. Abhandlungen. Bd. 4. Heft 1.)

1883.

Schinz, H., Untersuchungen über den Mechanismus des Aufspringens der Sporangien und Pollensäcke. Dissertation. Zürich.

1885.

Schrodt, J., Das Farnsporangium und die Anthere. (Flora.)

— Der mechanische Apparat zur Verbreitung der Farnsporen. (Berichte der D. B. G. Bd. 3. S. 396 ff.)

Leclerc du Sablon, Recherches sur la structure et la déhiscence des anthères. (Annales de Sciences naturelles, Botanique. Série VII. Tome I. Paris.)

1886.

Prantl, K., Die Mechanik des Ringes am Farnsporangium. (Ber. der D. B. G. Bd. 4. S. 42 ff.)

1887.

Schwendener, S., Über Quellung und Doppelbrechung vegetabilischer Membranen. (Sitzungsber. der K. pr. Ak. d. W. zu Berlin. S. 669 ff. In „Gesammelte Mitteilungen". Bd. I. S. 319 ff.)

Schrodt, J., Neue Beiträge zur Mechanik der Farnsporangien. (Flora.)

1888.

Schrodt, J., Beiträge zur Öffnungsmechanik der Cykadeen-Antheren. (Flora.)

Steinbrinck, C., Über die Abhängigkeit hygroskopischer Spannkräfte von der Zellwandstruktur. (Ber. der D. B. G. Bd. 6. S. 385—398.)

Hofmeister, F., Zur Lehre von der Wirkung der Salze. Dritte Mitteilung: Über die wasserentziehende Wirkung der Salze. (Archiv für experim. Path. und Pharm. Bd. 25. S. 1—30.)

1890.

Hofmeister, F., Zur Lehre etc. Fünfte Mitteilung: Untersuchungen über den Quellungsvorgang. (Arch. f. exp. Path. und Pharm. Bd. 27. S. 395—413.)

1891.

Hofmeister, F., Zur Lehre etc. Sechste Mitteilung: Die Beteiligung gelöster Stoffe an Quellungsvorgängen. (Arch. f. exp. Path. und Pharm. Bd. 28. S. 210—238.)

Steinbrinck, C., Über die anatomisch-physikalische Ursache der hygroskopischen Bewegungen pflanzlicher Organe. (Flora.)

1895.

Steinbrinck, C., Grundzüge der Öffnungsmechanik von Blütenstaub- und einigen Sporenbehältern. (Botanisch Jaarboeck. VII. Dodonaea, Gent.)

— Zur Öffnungsmechanik der Blütenstaubbehälter. Vorläufige Mitteilung. (Ber. der D. B. G. Bd. 13. S. 55—61.)

1896.

Volbehr, Untersuchungen über die Quellung der Holzfaser. Dissertation. Kiel.

1897.

Kamerling, Zur Biologie und Physiologie der Zellmembran. (Botan. Centralblatt. Bd. 72. S. 49—54 u. 85—91.)

Steinbrinck, C., Zur Kritik von Bütschlis Anschauungen über die Schrumpfungs- und Quellungsvorgänge in der pflanzlichen Zellhaut. (Ber. der D. B. G. Bd. 15. S. 29—33.)

— Der Öffnungs- und Schleudermechanismus des Farnsporangiums. (Ebenda. S. 86—90.)

Schrodt, J., Die Bewegung der Farnsporangien, von neuen Gesichtspunkten aus betrachtet. (Ebenda. S. 100—106.)

Pascheles, W. (Pauli), Untersuchungen über den Quellungsvorgang. (Archiv für die gesamte Physiologie, herausgegeben von E. F. W. Pflüger. Bd. 67. S. 219—239.)

1898.

Pascheles, W., Versuche über Quellung. Zweite Mitteilung. (Pflügers Archiv. Bd. 71. S. 333—356.)

Brodtmann, F., Über die Funktion der mechanischen Elemente beim Farnsporangium und bei der Anthere. Dissertation. Erlangen.

Kamerling, Z., Oberflächenspannung und Cohaesion. (Bot. Centralbl. Bd. 73. S. 369 ff., 439 ff., 465 ff.)

Steinbrinck, C., Ist die Kohäsion des schwindenden Füllwassers der dynamischen Zellen die Ursache der Schrumpfungsbewegungen in Antherenklappen, Sporangien und Moosblättern? (Ber. der D. B. G. Bd. 16. S. 97—103.)

1899.

Schwendener, S., Über den Öffnungsmechanismus der Antheren. (Sitzungsber. der K. pr. Ak. d. W. zu Berlin. S. 101—107.)

Steinbrinck, C., Über den hygroskopischen Mechanismus von Staubbeuteln und Pflanzenhaaren. (Schwendener-Festschrift. S. 165—183.)

— Über elastische Schwellung (Entfaltung) von Geweben und die mutmaßliche Saugwirkung gedehnten Wassers. (Ber. der D. B. G. Bd. 17. S. 99 - 112.)

— Zum Vorkommen und zur Physik der pflanzlichen Kohäsionsmechanismen. (Ber. der D. B. G. Bd. 17. S. 170—178.)

— Über die Verdrängung der Luft angeschnittener Pflanzenzellen durch Flüssigkeiten. (Ebenda. S. 326—330.)

1900.

Steinbrinck, C., Zur Frage der elastischen Schwellung von Pflanzengeweben. (Ber. d. D. B. G. Bd. 18. S. 48—53.)

— Zur Terminologie der Volumveränderung pflanzlicher Gewebe und organischer Substanzen bei wechselndem Flüssigkeitsgehalt. (Ebenda. S. 217—224.)

— Ist die Luftdurchlässigkeit einer Zellmembran ein Hindernis für ihre Schrumpfelung? (Ebenda. S. 275—285.)

— Über die Grenzen des Schrumpfelns. (Ebenda. S. 386—396.)

1901.

Schrodt, Zur Öffnungsmechanik der Staubbeutel. (Ber. der D. B. G. Bd. 19. S. 483—488.)

Steinbrinck, C., Über Auftreten und Wirkungen negativer Flüssigkeitsdrucke in Pflanzenzellen. (Physikal. Zeitschr.)

— Zum Öffnungsproblem der Antheren. (Ber. der D. B. G. Bd. 19. S. 552—556.)

1902.

Schwendener, S., Über den Öffnungsmechanismus der Makrosporangien von *Selaginella*. (Sitzungsber. der K. pr. Ak. d. W. zu Berlin. S. 1086 - 59.)

Steinbrink, C., Über den Schleudermechanismus der *Selaginella*-Sporangien. (Ber. d. D. B. G. Bd. 20. S. 117—128.)

1903.

Ursprung, A., Der Öffnungsmechanismus der Pteridophytensporangien. (Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 38. S. 635—666.)

Steinbrinck, C., Kohäsions- und hygroskopischer Mechanismus. Bemerkungen zu Ursprungs Abhandlung: „Der Öffnungsmechanismus . . . .“ (Ber. der D. B. G. Bd. 21. S. 217—229.)

— Versuche über die Luftdurchlässigkeit der Zellwände von Farn- und *Selaginella*-Sporangien, sowie von Moosblättern. (Flora. Bd. 91. S. 102—131.)

1904.

Ursprung, A., Beiträge zum Bewegungsmechanismus einiger Pteridophytensporangien. (Ber. der D. B. G. Bd. 22. S. 73—84.)

1905.

Colling, J. F., Das Bewegungsgewebe der Angiospermen-Staubbeutel. Dissertation. Berlin.

Steinbrinck, C., Einführende Versuche zur Kohäsionsmechanik von Pflanzenzellen, nebst Bemerkungen über den Saugmechanismus der wasserabsorbierenden Haare von Bromeliaceen. (Flora. Bd. 94. S. 464—477.)

1906.

Steinbrinck, C., Über Schrumpfungs- und Kohäsionsmechanismen von Pflanzen. (Biol. Centralbl. Bd. 26. S. 657 ff., 721 ff.)

Ursprung, A., Über den Bewegungsmechanismus des *Trichia*-Capillitiums. (Ber. der D. B. G. S. 216 ff.)

1908.

Kuhn, E., Über den Wechsel der Zelltypen im Endothecium der Angiospermen. Dissertation. Zürich.

Schneider, J. M., Der Öffnungsmechanismus der *Tulipa*-Anthere. Dissertation. Freiburg (Schweiz).

— Vorläufige Mitteilung. (Ber. der D. B. G. Bd. 26. S. 394—398.)

Steinbrinck, C., Über den Öffnungsmechanismus der Roll- und Faltblätter von *Polytrichum commune* u. einigen Drüsengräsern. (Ebenda. S. 399 - 412.)

1909.

Steinbrinck, C., Zu der Mitteilung von J. M. Schneider über den Öffnungsmechanismus der Tulpenanthere. (Ber. der D. B. G. Bd. 27. S. 1—10.)

Schneider, J. M., Zur ersten und zweiten Hauptfrage der Antherenmechanik. (Ebenda. S. 196 ff.)

Steinbrinck, C., Über den ersten Öffnungsvorgang bei Antheren. (Ebenda. S. 300 ff.)

1910.

Hannig, E., Über den Öffnungsmechanismus der Antheren. (Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. 47. S. 186—218.)

Steinbrinck, C., Über die Ursache der Krümmungen einiger lebender Achsenorgane infolge Wasserverlust. Erste Mitteilung. (Ber. der D. B. G. Bd. 28. S. 549 ff.)

Schmidt, W., Über den Einrollungsmechanismus einiger Farnblätter. Dissertation. Kiel. (Beihefte zum Botan. Centralbl. Bd. 26. S. 476—508.)

1911.

Steinbrinck, Über die Ursache etc. Zweite Mitteilung. (Ber. der D. B. G. Bd. 29. S. 334—347.)

Schneider, J. M., Über das Öffnen des Nahtgewebes der Antheren. (Ebenda. S. 406—416.)

b) Schriften allgemeinen Inhalts.

1828.

Meyen, F. J. F., Anatomisch-physiologische Untersuchungen über den Inhalt der Pflanzenzellen. Berlin. S. 52 f.

1837 und 1839.

Meyen, F. J. F., Neues System der Pflanzenphysiologie. Berlin. Bd. I, S. 64 ff. Bd. II, S. 134 ff.

1838.

Treviranus, Physiologie der Gewächse. Bonn. Bd. II. S. 279—288.

1909.

Haberlandt, G., Physiologische Pflanzenanatomie. 4. Aufl. Leipzig. S. 505 f.

Nachschrift. Zu S. 56.

Neue Untersuchungen über die Quellung von Gelatineplatten veröffentlichte nach Abschluß der vorliegenden Arbeit E. Lenk in „Die Bedeutung der Elektrolyte für Lebewesen“ (Die Naturwissenschaften, 1. Jahrg., 1913, S. 659 ff.; wie mir Dr. Lenk mitteilt, betrifft die genannte Veröffentlichung einen Teil seiner Habilitationsschrift, welche Oktober 1913 voraussichtlich in der „Biochemischen Zeitschrift“ erscheint). Zur Untersuchung kamen neutrale Chloride, so die des Na, K, Li, Ca, Mg, Ba, Hg, Fe in verschiedenen Konzentrationen $\left(\frac{m}{1000}\text{ bis }\frac{m}{1}\right)$ „Dabei stellte es sich heraus, daß die zur Untersuchung verwendete 20prozentige Gelatine in den konzentrierten Salzlösungen stärker quoll, als in verdünnten,“ im Gegensatz zu den Resultaten, welche Wo. Ostwald mit trockener Gelatine erhalten hat. — Eine Anwendung dieses Ergebnisses auf die hier in Frage kommenden Versuche darf bei der Verschiedenheit der Objekte (Gelatine bezw. Membranen von Antherenfaserzellen) nur mit Vorsicht geschehen. Immerhin ist bemerkenswert, daß gerade die wasserhaltige Gelatine im Gegensatz zur trockenen in Salzlösungen (unter denen sich auch das von Hannig angewendete $MgCl_2$ befindet) um so stärker quillt, je konzentrierter die Lösungen sind (vgl. Lenk a. a. O., S. 660, Tab. I). Eine Analogie mit den Versuchen Hannigs, der seine Objekte aus Wasser in die Salzlösungen brachte, ist nicht zu verkennen.

Lebenslauf.

Am 30. März 1887 wurde ich, Martin Schips, in Zürich geboren als Sohn des Schreinermeisters Martin Schips und der Frau Emilie geb. Dolder. Bürgerlich von Ellwangen a. d. Jagst, Württemberg, wurde ich 1903 durch Naturalisation meines Vaters Schweizer Bürger (Gemeinde Rothenthurm, Kanton Schwyz). Ich besuchte bis 1898 (5 Jahre) die Primarschule in Zürich und nach der Übersiedelung der Familie nach Einsiedeln ein Jahr die dortige Primarschule und ein halbes Jahr die Sekundarschule. 1899—1907 machte ich in Einsiedeln die Gymnasialstudien, welche ich Juli 1907 mit der Maturitätsprüfung abschloß. Herbst 1907 bis März 1910 studierte ich Theologie im Seminar St. Luzi in Chur, seit April 1910 Naturwissenschaften an der Universität Freiburg in der Schweiz, wo ich im botanischen Institut die vorliegende Arbeit ausführte und am 5. März 1913 die mündliche Doktorprüfung bestand.

Ich besuchte Vorlesungen und Übungen bei folgenden Herren Professoren: Baumhauer, Bistrzycki, Daniëls, Girard, Glücksmann, Gockel, Kathariner, Kowalski, Plancherel, Ursprung. Allen diesen Herren bin ich zu aufrichtigem Danke verpflichtet.